



**Impacto dos incêndios rurais sobre a regulação da qualidade da
água e serviços ecossistémicos associados: avaliação biofísica e
socioeconómica**

por

Mirandolina Ponte Correia

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Economia e Gestão do
Ambiente pela Faculdade de Economia do Porto

Orientador: Professor Doutor Jorge Manuel Espinha Marques

Coorientador: Professor Doutor João José Pradinho Honrado

Setembro, 2017

A ti, para ti e sempre por ti, mãe!

Nota biográfica

Mirandolina Ponte Correia nasceu no dia 26 de janeiro de 1991 na cidade do Funchal na Ilha da Madeira.

Licenciou-se em Saúde Ambiental pela Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra em 2014, tendo realizado um período de formação na Universidade de Dublin, na Irlanda, através do Programa *Erasmus*. O trabalho realizado na Irlanda teve como área de intervenção o Ambiente, e como objetivos o controlo e a prevenção da poluição marinha e ambiental.

Devido ao seu interesse pelo domínio do Ambiente, continuou os estudos na área, tendo ingressado em 2015, no Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente pela Faculdade de Economia da Universidade do Porto, estando em fase de conclusão com a apresentação da presente dissertação.

Agradecimentos

Só faria sentido iniciar o meu profundo agradecimento aos meus orientadores, Prof. Doutor Jorge Manuel Espinha Marques e Prof. Doutor João José Pradinho Honrado, pelo verdadeiro sentido da palavra orientação, por todo o apoio e disponibilidade para me acompanharem neste projeto, o qual não seria possível sem os seus contributos e encorajamento.

Quero igualmente agradecer aos meus professores do Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente da Universidade do Porto, por toda a competência, dedicação e partilha de conhecimento ao longo destes dois anos.

Aos meus verdadeiros colegas de Mestrado, pelos momentos partilhados, pela troca de ideias e por estarmos juntos nesta caminhada.

Aos meus amigos e amigas, os de perto e os que estão longe, os mais recentes e os mais antigos, por demonstrarem amizade, carinho, e apoio em todas as circunstâncias.

Ao Diogo, por estar sempre por perto (mesmo quando eu parecia estar longe), pelo seu incentivo, paciência, compreensão e ajuda.

O meu maior agradecimento vai para a minha família, em particular o meu pai e irmãos, e em especial, a minha irmã Telma, o meu exemplo de força, dedicação e persistência. As palavras nunca serão demais para agradecer todo o apoio e amor incondicional que dedicou em todos os momentos da minha vida, que a relação de cumplicidade, confiança e amor que nos une seja eterna.

Às demais pessoas que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a elaboração do presente estudo, a minha sincera gratidão.

Por fim, e não menos importante, que este trabalho seja uma forma de homenagem a todas as pessoas afetadas pela tragédia dos incêndios.

Resumo

Os incêndios constituem uma importante ameaça à sustentabilidade dos ecossistemas florestais, causando a sua degradação e limitando o seu fornecimento de bens e serviços à Humanidade. Nas últimas décadas, o número de fogos rurais e área ardida têm aumentado em Portugal. A destruição da cobertura vegetal e a alteração das características do solo conduzem a modificações no regime hidrológico, em resultado, particularmente, do escoamento superficial que transporta várias substâncias químicas para as massas de água.

A complexidade do tema exigiu uma adequada conceptualização das relações entre os processos, fatores, causas e impactos dos incêndios rurais. Assim, este estudo foi norteado por dois objetivos principais: i) a elaboração de um modelo conceptual com base na estrutura DPSIR que descreva a forma como os incêndios rurais afetam o serviço hidrológico de aprovisionamento de água às populações humanas; e ii) a aplicação desse modelo na caracterização do impacto ambiental e socioeconómico do conjunto de incêndios rurais de grande dimensão ocorridos na Serra do Caramulo entre 20 de agosto e 02 de setembro de 2013, no que respeita à degradação da qualidade da água para consumo humano devida, em especial, à presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs).

Com a elaboração do modelo conceptual, e posterior aplicação ao caso de estudo, foi possível definir e esclarecer as relações entre os fatores, processos e impactos das alterações geradas pelos fogos rurais, e apesar de não existirem dados concretos que demonstrem a gravidade real dos efeitos para a saúde, ficou evidenciada a importância de obter informação mais consistente acerca dos efeitos dos incêndios e das consequências geradas.

Com este estudo ficou assente a necessidade de uma contínua investigação científica no que toca aos incêndios rurais, nomeadamente, no modo de avaliação dos efeitos a longo prazo sobre a saúde humana resultantes da exposição à contaminação da água.

Palavras-chave: Incêndios rurais; DPSIR; serviço ecossistémico; qualidade da água; HAPs
Códigos-JEL: I18; O13; Q15; Q51; Q53; Q54; Q57.

Abstract

Rural fires constitute one of the main barriers to the sustainability of forest ecosystems, causing their degradation and hampering their supply of goods and services to Mankind. In recent decades, the number of rural wildfires and the burned area have increased in Portugal. The destruction of the vegetation cover and the alteration of the soil attributes lead to changes in the hydrological regime, especially in what concerns with the change in the contribution of each component of the hydrological cycle, as well as with the transport of chemicals to the water bodies, by surface runoff and by infiltration and groundwater movement.

The complexity of the theme required an adequate conceptualization of the relationship between factors, processes and impacts of rural fires. Thus, this study was guided by two main objectives: i) the elaboration of a conceptual model based on the DPSIR framework, which describes how rural fires affect the hydrological service of water supply to human populations; ii) the application of this model to the characterization of the environmental and socioeconomic impact of the set of large rural wildfires that occurred in the Caramulo mountain between August 20 and September 2 2013, regarding the water quality degradation for human consumption due to the presence of polycyclic aromatic hydrocarbons (HAPs).

With the elaboration of the conceptual model, and after application to the case study, it was possible to define and clarify the relationships among the factors, processes and impacts of the changes generated by rural fires, and although there is no concrete data that demonstrates the real severity of the effects for health, the importance of obtaining more consistent information about the effects of the fires and the consequences generated was evidenced. This study has established the need for continued scientific research on rural fires, including the way of assessing the long-term effects on human health of exposure to water contamination.

Key-words: Rural fires; Ecosystem services; water quality; PAHs

JEL-codes: I18; O13; Q15; Q51; Q53; Q54; Q57.

Índice

Nota biográfica	ii
Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Índice	vi
Índice de Tabelas	viii
Índice de figuras	ix
Lista de abreviaturas e acrónimos	xi
Capítulo 1. Introdução	1
1.1. Enquadramento temático geral	1
1.2. Justificação e objetivos da investigação realizada.....	3
Capítulo 2. Serviços ecossistémicos.....	6
2.1. Conceitos e diversidade	6
2.2. Serviços hidrológicos prestados pelas florestas.....	12
2.2.1. As florestas e os serviços ecossistémicos	12
2.2.2. O caso particular dos serviços hidrológicos.....	14
Capítulo 3. Os incêndios e os serviços hidrológicos dos ecossistemas	17
3.1. Incêndios na Europa e em Portugal: padrões, causas e consequências	17
3.2. Os incêndios como fator de degradação dos ecossistemas.....	28
3.3. Impactos dos incêndios na regulação hidrológica e nos serviços ecossistémicos associados	30
3.4. Impactos dos incêndios rurais sobre a qualidade da água	33
3.4.1. Impactos gerais	33

3.4.2.	Modificação das características físicas e químicas da água	36
3.4.3.	O caso particular dos Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	38
3.5.	Incêndios, qualidade da água e bem-estar humano	41
3.6.	Modelo conceptual proposto	43
Capítulo 4.	Caso de estudo: incêndios e qualidade da água na Serra do Caramulo	47
4.1.	Caraterização geral do sistema	47
4.1.1.	Enquadramento geográfico e administrativo	47
4.1.2.	Clima, geologia e geomorfologia	49
4.1.3.	População e atividades económicas	50
4.1.4.	Vegetação, paisagem e recursos hídricos	60
4.1.5.	Regime do fogo	62
4.2.	Os incêndios de agosto de 2013	64
4.3.	Análise do incêndio de agosto 2013	67
4.3.1.	Promotores	67
4.3.2.	Pressões	68
4.3.3.	Variáveis de Estado	70
4.3.4.	Impactos	73
4.3.5.	Respostas	75
Capítulo 5.	Conclusões	80
5.1.	Síntese dos principais resultados	80
5.2.	Conclusões e perspetivas futuras	83
	Referências bibliográficas	85
	Anexos	102

Índice de Tabelas

Tabela 1. Classificação de serviços ecossistémicos.	7
Tabela 2. Secções de serviços ecossistémicos reconhecidas pela CICES.	10
Tabela 3. Relação entre os processos eco-hidrológicos e a prestação de serviços hidrológicos ligados por atributos.	16
Tabela 4. Localidades abrangidas pelos estudos de Duarte (2015) e Mansilha et al. (2017).	51
Tabela 5. População residente por freguesia	52
Tabela 6. Dados das freguesias em estudo.	53
Tabela 7. População das freguesias empregada por setor.	54
Tabela 8. Dados dos indivíduos residentes e presentes nos lugares.	55
Tabela 9. Número de residentes empregados por setores económico.	59
Tabela 10. Pontos de água dos estudos realizados na Serra do Caramulo, de acordo com o tipo, utilização e localidade referente a Duarte (2015) e Mansilha et al. (2017).	62
Tabela 11. Distribuição por concelho da área ardida na Serra do Caramulo em 2013	65
Tabela 12. Distribuição das superfícies ardidas por concelho e freguesia, incêndio de Alcofra	65
Tabela 13. Distribuição das superfícies ardidas por concelho e freguesia, incêndio de Guardão	65
Tabela 14. Dados do inquérito aos Municípios afetados pelo incêndio do Caramulo	66

Índice de figuras

Figura 1. Estrutura conceptual do MA.....	8
Figura 2. Exemplo da estrutura hierárquica do serviço de aprovisionamento do CICES	11
Figura 3. Curso de água na Serra do Caramulo.	14
Figura 4. Triângulo e tetraedro do fogo	17
Figura 5. Número de incêndios rurais e área ardida por períodos de cinco anos nos países do sul da Europa	20
Figura 6. Evolução do número de ocorrências e área ardida em Portugal de 1995 a 2016. .	21
Figura 7. Distribuição dos valores correspondentes às causas não investigadas, determinadas e indeterminadas.	25
Figura 8. Distribuição da percentagem anual de ocorrências em Portugal, por categorias de causa, entre 2003 e 2015	26
Figura 9. Degradação visível após o incêndio na Serra do Caramulo.	29
Figura 10. Representação do ciclo hidrológico	31
Figura 11. Representação do escoamento de precipitação numa vertente até um curso de água	32
Figura 12. Estruturas dos cinco HAPs considerados na legislação portuguesa.....	40
Figura 13. Modelo conceptual para a prestação de serviços ecossistémicos de regulação da qualidade da água com base na estrutura de DPSIR.....	45
Figura 14. Localização da Serra do Caramulo no mapa topográfico representada pelo quadrado preto.	48
Figura 15. Serra do Caramulo vista do cume do Caramulinho.....	48
Figura 16. Mapa geológico da área de estudo e localização de pontos de água.	50
Figura 17. Mapa topográfico da área do estudo.....	51
Figura 18. Percentagem dos indivíduos residentes nos lugares por grupos etários.....	56
Figura 19. Distribuição da população residente pelos níveis de escolaridade.....	58
Figura 20. Distribuição da área ardida por freguesia dos três grandes fogos florestais ocorridos na Serra do Caramulo em 2013.	64

Figura 21. Ribeira das Dornas em outubro de 2009.....	71
Figura 22. Ribeira das Dornas em dezembro de 2013	72
Figura 23. Ribeira das Dornas em Maio de 2017.....	72

Lista de abreviaturas e acrónimos

AEA - Agência Europeia do Ambiente

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry

CEE-ONU - Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas

CICES - Common International Classification of Ecosystem Service

DPSIR - Driving Forces; Pressures; State; Impacts; Responses

EEA - European Environment Agency

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

HAPs - Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

ICNF - Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

IPBES - Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

MEA/MA - Millennium Ecosystem Assessment

SE - Serviços ecossistémicos

TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity

UNDESA - United Nations Department of Economic and Social Affairs

UNECE - United Nations Economic Commission for Europe

UNSD - United Nations Statistics Division

USEPA - United States Environmental Protection Agency

USGS - United States Geological Survey

WHO - World Health Organization

Capítulo 1. Introdução

1.1. Enquadramento temático geral

As florestas constituem ecossistemas de elevada importância ambiental e socioeconómica, fornecendo à Humanidade múltiplos produtos e outros benefícios, tais como: proteção dos solos, proteção da biodiversidade, regulação do ciclo hidrológico e regulação das condições meteorológicas locais (através da evapotranspiração) e globais (através das reservas de carbono). Do ponto de vista socioeconómico, a exploração das florestas gera recursos devido, em particular, à produção de madeira. Para além deste material, as florestas também fornecem produtos não lenhosos, tais como alimentos (bagas e cogumelos), cortiça, resinas e óleos, e constituem igualmente a base de alguns serviços, como a caça e o turismo. Por conseguinte, as florestas geram riqueza e emprego, principalmente nas zonas rurais (Ragonnaud, 2017).

No entanto, apesar da importância das florestas, os regimes de perturbação das mesmas têm vindo a intensificar-se, e as alterações climáticas futuras deverão ampliar esse processo nas próximas décadas. Estas mudanças colocam desafios importantes e complexos aos principais objetivos da gestão do ecossistema florestal, que residem no fornecimento de serviços ecossistémicos de forma sustentável à sociedade e na manutenção da diversidade biológica das florestas (Thom e Seidl, 2016).

De acordo com Neary *et al.* (2005), o fogo é um distúrbio natural que ocorre na maioria dos ecossistemas terrestres, e é também um instrumento que tem sido usado pelos seres humanos para gerir uma vasta gama de ecossistemas naturais. Deste modo, o fogo pode produzir inúmeros efeitos no solo, na água, na biota e no ar, razão pela qual é fundamental avaliar os efeitos sobre esses componentes, para que assim seja possível equilibrar os benefícios gerais e os custos associados ao uso do fogo na gestão do ecossistema. Sobre este ponto, considera-se essencial uma reflexão e/ou esclarecimento acerca do emprego da expressão “incêndios florestais”. Na realidade, em Portugal trata-se de “incêndios rurais”, designação que inclui os incêndios que afetam não só floresta, mas também matagais, prados,

e áreas agrícolas¹ (Pereira, 2017). O presente estudo foca a sua atenção nos ecossistemas florestais; no entanto, os incêndios que aí ocorrem enquadram-se no conceito mais abrangente de “incêndios rurais”.

Embora os efeitos de um grave incêndio rural possam ser devastadores, um incêndio com intensidade baixa a moderada pode por vezes apresentar efeitos benéficos no funcionamento ecológico e hidrológico das bacias hidrográficas. Com efeito, os incêndios rurais de baixa a moderada intensidade podem estimular a sucessão ecológica e promover a diversidade de habitats na paisagem. O fogo prescrito pode ser usado como uma ferramenta não só para a gestão da floresta, mas também para a gestão a longo prazo da qualidade da água (Paige e Zygmunt, 2013).

Diaz (2012) refere que os impactos dos incêndios rurais são frequentemente descritos em termos de vidas afetadas, estruturas e casas destruídas, custos de extinção geral e danos à base dos recursos naturais de que muitas comunidades rurais dependem. Os incêndios rurais podem, na realidade, ter efeitos positivos e negativos nas economias locais. Os primeiros resultam da atividade económica gerada na comunidade durante a supressão de fogo e reconstrução pós-fogo, incluindo o trabalho de suporte florestal (como a construção de linhas de fogo), ou o fornecimento de bens essenciais às equipas de combate a incêndios. Porém, só são efeitos positivos se as despesas de supressão do fogo e a contratação for feita localmente (Diaz, 2012). Entre os efeitos económicos negativos para as comunidades, são de destacar a queima de madeira, a perda de valor da recreação e do turismo, a alteração da paisagem, a preocupação da comunidade pela segurança e pelos efeitos do fumo para a saúde e as alterações das propriedades hidrológicas e do solo. A recuperação após o fogo pode ter um custo apreciável que depende da gravidade e da distribuição espacial do incêndio (Murphy e Writer, 2011; Diaz, 2012).

Os incêndios rurais constituem um fenómeno cada vez mais frequente na região Mediterrânica. Em Portugal, durante as últimas décadas, tem-se observado um aumento do número de ocorrências e também da área ardida total. As graves consequências sociais,

¹ De acordo com a recente Lei n.º 76/2017, “incêndio rural” é definido por incêndio florestal ou agrícola que decorre nos espaços rurais.

econômicas e ecológicas destes incêndios são amplamente reconhecidas, mas alguns dos seus impactos, nomeadamente na qualidade da água, têm sido pouco estudados pela comunidade científica e em geral desvalorizados, sobretudo porque os efeitos podem não se manifestar imediatamente após a ocorrência destes eventos (Soulis *et al.*, 2012; Meneses, 2013; Silva *et al.*, 2016).

A contaminação da água em consequência dos incêndios rurais acontece devido à produção e posterior exportação de substâncias pirolíticas nocivas, tais como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) mas também através da entrada de metais associados às cargas de cinza/solo. A alteração da qualidade da água é evidenciada quando ocorre a primeira precipitação capaz de gerar escorrência superficial, infiltração e escoamento subterrâneo em vertentes ardidas, da qual resulta o transporte de substâncias químicas até aos cursos de água e aquíferos, (Abrantes, 2013; Meneses, 2013; Mansilha *et al.*, 2014). Alguns dos HAPs são considerados potencialmente carcinogénicos e a sua toxicidade, persistência ambiental, tendência para a bioacumulação, distribuição no meio ambiente e os potenciais riscos para a saúde humana têm sido foco de muita atenção e preocupação (Abrantes, 2013; Abdel-Shafy e Mansour, 2015).

1.2. Justificação e objetivos da investigação realizada

Neste quadro, torna-se relevante um estudo que incida sobre os impactos que advêm dos incêndios rurais, em especial em países e regiões de clima mediterrânico, como é o caso de Portugal, onde este fenómeno tem uma incidência particularmente elevada. O estudo detalhado de incêndios concretos, apoiado numa moldura conceptual robusta, poderá contribuir para mitigar os efeitos locais desses eventos e para melhorar os processos de decisão na gestão do risco de incêndio às escalas local e regional, contribuindo ao mesmo tempo para o progresso do estado do conhecimento sobre os impactos sócio-ecológicos dos incêndios.

Surpreendentemente, o impacto dos incêndios na qualidade da água (especialmente da água subterrânea) tem sido relativamente pouco estudado pela comunidade científica. No

entanto, devido à dimensão do problema em Portugal, este assunto tem merecido cada vez maior atenção por parte da comunidade científica e também das autoridades com responsabilidades na administração do território e dos recursos naturais (Mansilha *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2016). Assim, o presente estudo pretende contribuir para o enriquecimento do universo de estudos nesta temática, em particular dos incêndios rurais em Portugal e do modo como estes afetam os serviços hidrológicos das florestas, bem como os possíveis efeitos socioeconómicos da degradação da qualidade da água. Os resultados do estudo contribuirão, igualmente, para uma maior consciência dos decisores quanto aos impactos dos incêndios rurais, quer na esfera ambiental, quer na esfera socioeconómica.

Neste contexto, o presente estudo tem os seguintes objetivos gerais:

- 1) Elaborar um modelo conceptual geral que auxilie a análise (e a gestão) da forma como os incêndios rurais afetam os serviços ecossistémicos hidrológicos relacionados com o aprovisionamento de água às populações humanas, destacando a complexa inter-relação entre os fatores condicionantes e os impactos resultantes da degradação da qualidade da água na esfera biofísica e na esfera socioeconómica.
- 2) Aplicar o modelo conceptual proposto na caracterização do impacto ambiental e socioeconómico do conjunto de grandes incêndios rurais ocorridos na Serra do Caramulo entre 20 de agosto e 02 de setembro de 2013, destacando a degradação da qualidade da água para consumo humano devido à presença de HAPs. Devido à possibilidade de afetarem os seres humanos, assim como outros seres vivos, estes compostos orgânicos encontram-se registados em listas europeias e norte-americanas de poluentes cuja monitorização é considerada prioritária (e.g., Mansilha *et al.*, 2014). Os HAPs são potencialmente tóxicos e cancerígenos, podem persistir no ecossistema por longos períodos e tendem a ser bioacumulados (Abdel-Shafy e Mansour, 2015).

Do ponto de vista científico, a complexidade do tema exige uma adequada conceptualização das relações entre fatores, processos e impactos (objetivo 1). Por outro lado, a dimensão dos impactos dos incêndios registados da Serra do Caramulo durante o ano de

2013 justifica a escolha deste território para uma primeira aplicação da moldura conceptual proposta (objetivo 2).

Subordinada aos objetivos enunciados acima, a presente dissertação foi estruturada em cinco capítulos. Na sequência da presente Introdução (Capítulo 1), o Capítulo 2 procede à revisão da literatura relevante em matéria de serviços ecossistémicos e em particular de serviços hidrológicos prestados pela floresta. O Capítulo 3 direccionado para os incêndios, enquanto perturbação que afeta as florestas, e os serviços ecossistémicos hidrológicos, com maior relevância para os impactos sobre a qualidade da água e o caso particular dos HAPs; é ainda apresentada uma síntese e um modelo conceptual acerca da relação entre os incêndios rurais, a qualidade da água, e o bem-estar humano. No Capítulo 4 é descrito o caso de estudo da Serra do Caramulo, com destaque para a aplicação do modelo conceptual anteriormente elaborado a este exemplo concreto. Finalmente, no Capítulo 5 é apresentada uma síntese dos principais resultados dos capítulos anteriores e ainda uma reflexão final que inclui as principais conclusões do estudo e algumas propostas de linhas de investigação futuras.

Capítulo 2. Serviços ecossistêmicos

2.1. Conceitos e diversidade

“Ecossistema” pode ser definido como uma unidade funcional onde comunidades de plantas, animais e microrganismos interagem de uma forma dinâmica com o meio abiótico (Pereira *et al.*, 2009). Desta forma, os ecossistemas estão na base da vida e da atividade humana, fornecendo uma variedade de serviços ecossistêmicos (SE) indispensáveis à Humanidade e às atividades económicas.

De uma forma simples, o conceito de SE pode ser definido como os benefícios que os indivíduos e as sociedades obtêm de forma direta ou indireta dos ecossistemas (Comissão Europeia, 2009). A introdução do conceito de “serviços do ecossistema” tem intrínseca a gestão da multifuncionalidade dos ecossistemas, no entanto, por vezes é impossível conciliar num mesmo local todos os serviços potenciais que os ecossistemas podem assegurar (Pereira *et al.*, 2009). Com o objetivo de identificar, caracterizar e classificar os SE foram desenvolvidas várias iniciativas internacionais, entre as quais se assinalam: *Millennium Ecosystem Assessment* (MA), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB), *Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES) e *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES) (Burkhard *et al.*, 2012), sendo atualmente mais utilizadas as classificações MA e CICES (Haines-Young e Potschin, 2009).

O primeiro esforço internacional no que toca à recolha de informações sobre os ecossistemas e os seus serviços foi o *Millennium Ecosystem Assessment* (MA), ou Avaliação de Ecossistemas do Milénio, um estudo global realizado entre 2001 e 2005, por solicitação do Secretário-geral das Nações Unidas. O MA visava conferir uma avaliação integrada das consequências das alterações dos ecossistemas no bem-estar humano, assim como investigar as opções disponíveis para a preservação dos ecossistemas e do seu contributo para responder às necessidades humanas (Pereira *et al.*, 2009). O MA avaliou as consequências das alterações nos ecossistemas para o bem-estar humano, e instituiu a base científica para uma melhoria da gestão dos ecossistemas da Terra, de modo a garantir a sua conservação e uso

sustentável. Teve como foco os serviços que se obtém dos ecossistemas, tais como a produção de alimentos e de matérias-primas como a madeira, a regulação do ciclo da água, a formação do solo, etc. Sendo o MA desenvolvido como uma avaliação multi-escala, foi destacado um grupo de trabalho de Avaliações Sub-Globais, cuja missão era desenvolver avaliações dos ecossistemas a escalas regionais, nacionais e locais. Uma destas Avaliações Sub-Globais foi a Avaliação para Portugal (Pereira *et al.*, 2009).

A iniciativa MA propõe um esquema de classificação dos serviços ecossistémicos (Tabela 1) bastante operacional, acessível e facilmente compreensível por decisores e comunidades não científicas, sendo por isso uma das classificações mais generalizadas e utilizadas (Fisher *et al.*, 2011).

Tabela 1. Classificação de serviços ecossistémicos (adaptado de Pereira *et al.*, 2009).

<u>Serviços de suporte</u> Serviços necessários para a produção de todos os outros serviços dos ecossistemas <ul style="list-style-type: none"> - Formação do solo - Ciclos dos nutrientes - Produção primária 		
<u>Serviços de aprovisionamento</u> Produtos obtidos a partir dos ecossistemas <ul style="list-style-type: none"> - Alimentos - Água potável - Produtos lenhosos - Fibras - Combustível - Recursos genéticos 	<u>Serviços de regulação</u> Benefícios obtidos através da regulação dos processos dos ecossistemas <ul style="list-style-type: none"> - Regulação do clima - Controlo de doenças - Regulação da água - Purificação da água 	<u>Serviços culturais</u> Benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas <ul style="list-style-type: none"> - Espirituais e religiosos - Estéticos - Recreio e ecoturismo - Inspiração - Educacionais - Herança cultural

As alterações nos ecossistemas e nos seus serviços afetam de maneira direta ou indireta o bem-estar humano, através de impactos na segurança, nos recursos materiais básicos para uma vida com qualidade, na saúde e nas relações socioculturais. Segundo Pereira *et al.* (2009), nos últimos 50 anos os seres humanos modificaram os ecossistemas mais rápida e extensivamente que em qualquer outro período da história humana. Estas alterações foram

feitas no sentido de responder ao aumento da procura de alimentos, água, madeira e combustíveis, induzido pelo crescimento demográfico e económico.

Na Figura 1 é apresentada a estrutura conceptual do MA. Esta descreve a interação dinâmica entre as pessoas e os ecossistemas e analisa como é que alterações nos promotores que afetam indiretamente os ecossistemas (por exemplo o crescimento demográfico) podem levar a alterações nos promotores que afetam diretamente os ecossistemas (por exemplo o uso do solo). As consequências destas alterações nos ecossistemas afetam a produção de serviços ecossistémicos o que por sua vez influencia o bem-estar humano (Pereira *et al.*, 2009).

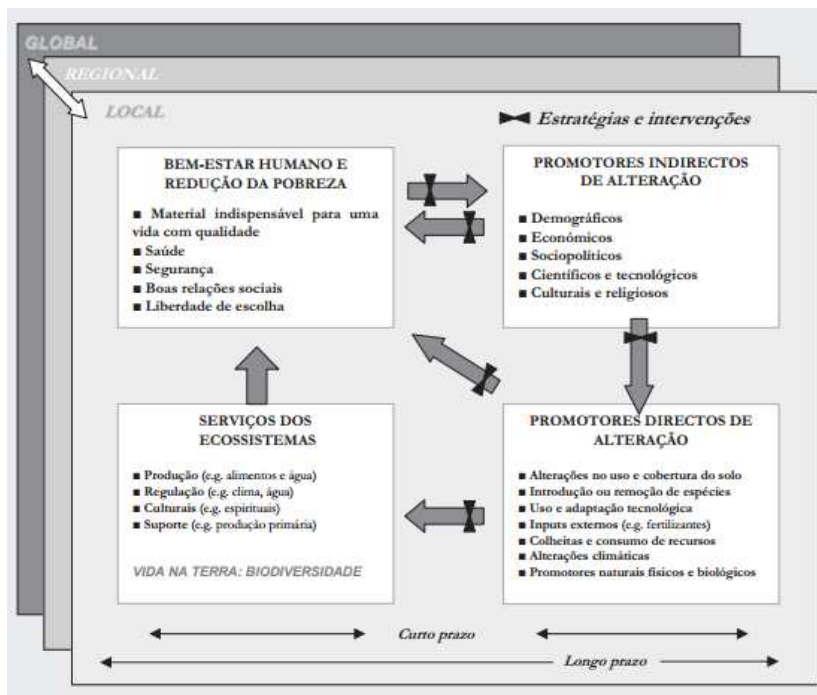


Figura 1. Estrutura conceptual do MA (Pereira *et al.*, 2009).

As interações podem ocorrer a diferentes escalas, como exemplo, um mercado global pode conduzir à perda de floresta a nível regional, o que por sua vez vai aumentar a magnitude das cheias ao longo do curso de um rio. Similarmente, as interações podem ocorrer a diferentes escalas temporais. As ações podem ser tomadas quer para responder a alterações negativas quer para intensificar alterações positivas na maioria de todos os pontos desta abordagem conceptual (barras negras) (Pereira *et al.*, 2009).

Mais recentemente (2009), foi lançada pela Agência Europeia do Ambiente (AEA) a Classificação Internacional Comum de Serviços Ecosistémicos (CICES). Esta iniciativa propõe uma classificação revista dos SE, com o objetivo de contribuir para a ligação entre as diferentes classificações existentes e assim facilitar a troca de informações e a integração das diferentes perceções acerca do tema (Haines-Young e Potschin, 2013). De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) este sistema apresenta alguns aspetos particulares que o distinguem dos restantes sistemas. Em particular, a CICES considera os serviços ecosistémicos diretamente consumidos ou utilizados pelos seres humanos e que contribuem para o seu bem-estar, isto é, apenas considera os “serviços finais” dos ecossistemas, tendo como característica fundamental dos mesmos o facto de manterem uma ligação às funções, processos e estruturas do ecossistema subjacentes que estiveram na sua origem (situação distinta da que sucede com os “bens e benefícios” – “produtos” – dos ecossistemas, os quais derivam dos designados “serviços finais”, não estando funcionalmente ligados aos sistemas ecológicos subjacentes) (APA, 2017).

Deste modo, o sistema de classificação CICES propõe uma classificação baseada em três secções ou categorias (Tabela 2): serviços de aprovisionamento, serviços de regulação e manutenção, e serviços culturais (Haines-Young e Potschin, 2013). De acordo com a *European Environment Agency* (EEA) os serviços de suporte (inicialmente referidos pelo ME) não se enquadram nesta classificação, uma vez que são parte integrante das estruturas, processos e funções que caracterizam os ecossistemas e respetivos serviços, sendo apenas indiretamente consumidos ou utilizados pelos seres humanos, não se tratando, por isso, de “serviços finais”, aqueles que são efetivamente considerados na classificação CICES (EEA, 2017). Portanto, considerar os “serviços de suporte” apresentaria assim um panorama de

potencial enviesamento (“dupla contagem”) na contabilização dos serviços prestados pelos ecossistemas. Importa ainda referir que os “serviços de habitat” estão incluídos nos serviços de regulação e manutenção (APA, 2017).

Tabela 2. Secções de serviços ecossistémicos reconhecidas pela CICES (adaptado de Maes *et al.*, 2013).

Secção de serviços	Descrição
Aprovisionamento	<p>Inclui todos os “<i>outputs</i>” energéticos materiais e bióticos dos ecossistemas; São coisas tangíveis que podem ser negociadas/consumidas diretamente pelas pessoas na produção.</p> <p>São reconhecidas quatro divisões principais de serviços:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nutrição: inclui todos os resultados do ecossistema que são utilizados direta ou indiretamente como os alimentos (incluindo água potável); - Abastecimento de água: inclui a de consumo humano; - Materiais (bióticos) que são utilizados na fabricação de bens; - Fontes de energia renováveis bióticas. <p>Nas divisões deste serviço podem ser reconhecidas classes adicionais e tipos de classe.</p>
Regulação e manutenção	<p>Inclui todas as formas pelas quais os ecossistemas controlam ou alteram os parâmetros bióticos ou abióticos que definem o meio ambiente das pessoas, são os resultados do ecossistema que não são consumidos, mas afetam o desempenho de indivíduos, comunidades e populações e as suas atividades.</p> <p>São reconhecidas três principais divisões de serviços:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mediação de resíduos, tóxicos e outros incómodos: os serviços de biota ou ecossistemas fornecem para desintoxicar/diluir substâncias resultantes da ação humana; - Mediação de fluxos (gasosos/ar, líquidos, massa sólida): abrange serviços como regulação e manutenção de terras, proteção contra inundações e tempestades; - Manutenção de condições físicas, químicas e biológicas: identifica que os ecossistemas fornecem condições de vida sustentáveis, incluindo a formação do solo, a regulação do clima, o controle de pragas e doenças, etc. <p>Todas as divisões são ainda divididas em grupos de serviços, classes e tipos de classe.</p>
Cultural	<p>Inclui todos os resultados não ecológicos do ecossistema que tenham significado simbólico, cultural ou intelectual.</p> <p>São reconhecidas duas grandes divisões de serviços:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interações físicas e intelectuais com os ecossistemas e paisagens (terrestres/marinhas); - Interações espirituais, simbólicas e outras com os ecossistemas e paisagens. <p>As duas divisões culturais podem ser divididas em grupos, classes e tipos de classes.</p>

O sistema CICES agrupa os serviços em três secções e reconhece mais quatro níveis hierárquicos (divisão, grupo, classe e tipo de classe), do mais geral para o mais específico, como é possível observar através do exemplo ilustrado na Figura 2. As secções correspondem às três principais categorias de serviços ecossistémicos, que por sua vez será dividida em principais tipos de saída (“*outputs*”) ou processo. O nível do grupo divide as categorias de divisão por tipo ou processo biológico, físico ou cultural. O nível de classe fornece uma subdivisão adicional de categorias de grupo em “*outputs*” biológicos ou materiais e processos biofísicos e culturais, que podem ser vinculados de volta a fontes de serviço concretas identificáveis. Tipos de classe mais detalhados tornam a classificação mais compreensível e fornecem um maior esclarecimento sobre os serviços ecossistémicos concretos que estão incluídos em cada classe (Maes *et al.*, 2013).

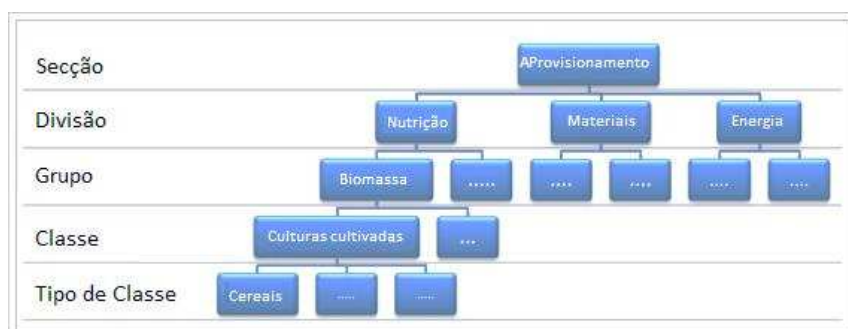


Figura 2. Exemplo da estrutura hierárquica do serviço de aprovisionamento do CICES (adaptado de Haines-Young e Potschin, 2013).

A utilização de uma estrutura hierárquica de cinco níveis está em conformidade com a orientação das melhores práticas da Divisão de Estatística das Nações Unidas (UNSD), pois permite a estrutura de cinco níveis para o mapeamento e avaliação dos ecossistemas, enquanto os quatro primeiros níveis podem ser usados para a contabilização do ecossistema sem reduzir a utilidade da classificação para distintos grupos de utilizadores (Haines-Young e Potschin, 2012).


2.2. Serviços hidrológicos prestados pelas florestas


2.2.1. As florestas e os serviços ecossistêmicos


De acordo com a definição da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e da Comissão Económica para a Europa das Nações Unidas (CEE-ONU) nas suas avaliações periódicas dos recursos florestais, Florestas são ecossistemas com um coberto pelas copas das árvores superior a 10% da área de terreno, cuja extensão deve ser pelo menos de 0,5 hectares. As árvores são plantas lenhosas, que possuem um eixo (tronco) constituído por madeira (ou tecido lenhoso compacto) e que devem poder atingir os 5 m de altura na sua maturidade. Nesta definição estão incluídas as florestas de baixa densidade de árvores (como os montados em Portugal). São também florestas os povoamentos artificiais e as comunidades vegetais jovens que ainda não atingiram as dimensões referidas, bem como terrenos cujo coberto foi recentemente cortado, mas que estão inseridos em áreas florestais (Pereira, 2014).


As florestas assumem uma grande importância na conservação da biodiversidade e na regulação dos processos ecológicos ao nível da paisagem. Estabelecem um importante suporte de diversas economias e da preservação das condições ambientais e ecológicas que estão na base do bem-estar humano, assumindo desta forma, um papel importante no desenvolvimento e na competitividade dos territórios (Honrado *et al.*, 2011). Os ecossistemas florestais saudáveis são sistemas ecológicos de suporte à vida. De acordo com o *United States Department of Agriculture* (2017) as florestas fornecem um conjunto completo de bens e serviços que são vitais para a saúde humana e meios de subsistência, recursos naturais que chamamos de serviços ecossistêmicos.

O MA classifica os serviços ecossistêmicos em quatro tipos, que se aplicam aos ecossistemas florestais da seguinte forma (Pereira *et al.*, 2009; UNECE, 2014):

 **Serviços de aprovisionamento ou produção:** são os produtos físicos úteis da floresta, como madeira, alimentos, combustível, água potável, fibras (vestuário) e combustíveis.

 **Serviços de regulação:** são os benefícios "preventivos" das florestas (em geral, sem valor de mercado) resultantes da regulação dos processos, são exemplos: regulação climática, manutenção da qualidade do ar, regulação hidrológica, controlo da erosão, purificação da água, polinização e mitigação dos efeitos de tempestades.

 **Serviços culturais:** a floresta é fonte de regeneração estética e espiritual, além de oferecer recreação e educação, presta serviços para a indústria do turismo. São exemplos: diversidade cultural e de sistemas de conhecimento, valores espirituais e religiosos, ciência e educação, valores estéticos, relações sociais, valores patrimoniais culturais, turismo, lazer e recreação.

 **Serviços de suporte²:** serviços fundamentais para a provisão de todos os outros serviços, com impactos indiretos sobre os seres humanos. São exemplos: formação de solo, produção primária, reciclagem de água e nutrientes, produção de oxigénio atmosférico e fornecimento de habitat para a flora e a fauna (serviços de biodiversidade).

É de destacar a multifuncionalidade das florestas, devido ao seu papel ambiental, económico e social (Parlamento Europeu, 2017). Ao alterar a estrutura e as funções dos seus ecossistemas, os seres humanos tendem a alterar o tipo e o tamanho dos fluxos de serviços que promovem o bem-estar humano (Thorsen *et al.*, 2014). A perda destes serviços dos ecossistemas naturais irá obrigar a alternativas dispendiosas. O investimento do capital natural irá economizar recursos financeiros a longo prazo e é importante para o bem-estar e sobrevivência futura da humanidade (Comissão Europeia, 2009).

² Na classificação CICES, os serviços de suporte são considerados funções ecossistémicas de suporte aos serviços finais.

2.2.2. O caso particular dos serviços hidrológicos

A água, sendo o mais vital de todos os recursos naturais, é essencial para a vida. As florestas têm uma relação estreita com os recursos hídricos, pelo que a gestão florestal e a qualidade da água estão intimamente ligadas (Figura 3). A gestão florestal sustentável é essencial para garantir o fornecimento de água doce de boa qualidade, para a proteção contra os riscos naturais, como inundações ou erosão do solo e para a proteção das necessidades das espécies aquáticas (Forestry Commission, 2011).

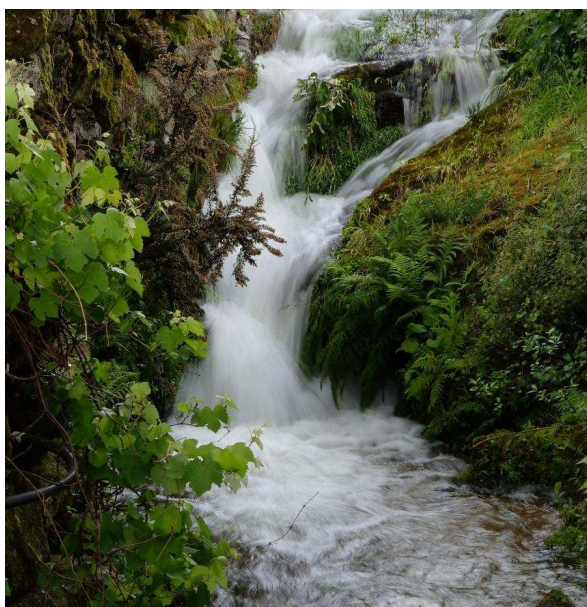







Figura 3. Curso de água na Serra do Caramulo (fonte própria, maio 2017).

As florestas são um dos ecossistemas mais importantes para a prestação de serviços hidrológicos. Estes envolvem os benefícios resultantes dos efeitos dos ecossistemas terrestres sobre a água doce. De acordo com Brauman *et al.* (2007), como estes serviços constituem um grupo diversificado, a divisão pode ser feita nas seguintes cinco categorias:

-  Melhoria do abastecimento de água por extração: inclui fornecimento municipal às populações, bem como o uso agrícola, comercial e industrial;
-  Melhoria do abastecimento de água *in-situ*: inclui a geração hidroelétrica, a recreação aquática e os transportes fluviais, a produção de peixe e de outros organismos de água doce com aproveitamento comercial, a formação de habitats e a proteção da biodiversidade;
-  Mitigação de danos causados pela água: é na sua base um serviço ecossistêmico de regulação, incluindo o controle de danos causados pelas inundações/cheias, sedimentação e formação de aluviões, reciclagem e disponibilização de nutrientes, tamponamento dos efeitos da salinização e o controlo da erosão de margens de curso de água;
-  Prestação de serviços culturais relacionados com a água: incluem-se aqui valores religiosos e espirituais, os aspetos da estética e apreciação da paisagem e o turismo e atividades desportivas;
-  Serviços de suporte associados à água: inclui-se aqui a provisão de água para o crescimento das plantas e para criar habitats para organismos aquáticos.

Cada um destes serviços hidrológicos requer ou é definido por atributos (ou requisitos) de quantidade, qualidade, localização e tempo de fluxo. A relação dos serviços com os atributos hidrológicos e os processos eco-hidrológicos³ é ilustrada na Tabela 3 (Brauman *et al.*, 2007).

³ Processo eco-hidrológico: um processo descrito por funções ecológicas e hidrológicas

Tabela 3. Relação entre os processos eco-hidrológicos e a prestação de serviços hidrológicos ligados por atributos (adaptado de Brauman *et al.*, 2007).

Processo Eco-hidrológico (o que o ecossistema faz)	Atributo Hidrológico (efeito direto do ecossistema)	Serviço hidrológico (o que o beneficiário recebe)
Interações climáticas locais	Quantidade (armazenamento de águas superficiais e subterrâneas e escoamento)	Abastecimento de água canalizada: Águas municipais para a agricultura, comércio e indústria
Uso de água pelas plantas		
Filtro ambiental	Qualidade (agentes patogênicos, nutrientes, salinidade, sedimentos)	Abastecimento de água <i>in situ</i> : Hidroenergia, recreio, transportes, atividade piscícola e outros produtos de água doce
Estabilização do solo		
Adição/Subtração química e biológica	Localização (superficial/subterrânea, rio acima/abaixo, dentro/fora do canal)	Atenuação de danos causados pela água: Redução dos riscos de inundação, de salinização, das terras áridas, de intrusão de água salgada, de sedimentação
Formação do solo		
Alteração da superfície do solo		
Alteração das linhas de escoamento superficial		
Desenvolvimento das margens do rio		
Controlo da velocidade do escoamento	Tempo (picos e tenacidade do escoamento, velocidades)	Espiritual e estética: Provisão de valores religiosos, educacionais e turísticos
Armazenamento de água a curto prazo		
Sazonalidade do uso de água		
		Suporte: Água e nutrientes para suporte vital de estuários e outros habitats, preservação de opções

Os atributos hidrológicos são diretamente afetados pelos ecossistemas à medida que a água se move através de uma paisagem. Ao afetar cada atributo, os processos do ecossistema melhoram ou diminuem a oferta de serviços hidrológicos (Brauman *et al.*, 2007). As bacias hidrográficas e o funcionamento dos ciclos hidrológicos são cruciais não só para os ecossistemas naturais, mas também porque fornecem serviços ecossistêmicos cruciais para a humanidade. As florestas, em comparação com outras coberturas de vegetação, influenciam o ciclo hidrológico. Assim, a gestão (ou a falta dela) das florestas pode afetar os resultados hidrológicos que os seres humanos esperam que os ecossistemas proporcionem (Thorsen *et al.*, 2014).

Capítulo 3. Os incêndios e os serviços hidrológicos dos ecossistemas

3.1. Incêndios na Europa e em Portugal: padrões, causas e consequências

O fogo é um fator ecológico importante na dinâmica dos ecossistemas e das paisagens, ocorrendo naturalmente em diversas regiões do globo. No entanto, historicamente o regime natural do fogo foi sendo modificado pela presença do Homem e das suas atividades (Bowman *et al.*, 2011).

A ocorrência de incêndios depende da inter-relação entre três componentes, ou fatores, que constituem o chamado “triângulo do fogo” (Figura 4): (i) a existência de combustível, que pode ser sólido (madeira, plásticos), líquido (solventes voláteis) ou gasosos (gás); (ii) a existência de comburente, ou seja, oxigénio; e (iii) a existência de energia de ativação, que pode ser devida a choque, fricção, pressão, faísca, ponto quente ou chama, e que é indispensável para iniciar o fogo. Na presença destes elementos, o incêndio tem condições para ocorrer e progredir numa dada paisagem (Paixão, 2014; Pais e Dos Santos, 2015). A estes três elementos necessários para que se inicie a combustão, e que constituem o triângulo do fogo, associa-se um quarto – a reação em cadeia – que permite a manutenção e o desenvolvimento de uma combustão com presença de chamas (Figura 4), configurando assim o chamado “tetraedro do fogo” (Loureço *et al.*, 2006).



Figura 4. Triângulo e tetraedro do fogo (Loureço *et al.*, 2006).

Um fogo rural define-se pela combustão controlada de materiais combustíveis existentes nas áreas florestais. São exemplos os fogos controlados e as queimadas rurais,

destinados a reduzir o volume do combustível (por exemplo, o mato). Por seu lado, um incêndio rural é a combustão, sem controlo no espaço e no tempo, dos materiais combustíveis existentes nesses espaços (De Castro *et al.*, 2003).

Apesar de se verificar um gradiente acentuado de Sul para Norte, no que se refere ao regime de fogo⁴, os incêndios rurais constituem um sério problema em toda a Europa. A frequência e a intensidade do fogo na Europa estão a modificar-se devido a vários fatores, tais como: mudanças incentivadas pelo comportamento humano (por exemplo, o aumento da densidade populacional em algumas áreas e o despovoamento rural em outras), alterações nos padrões de uso da terra que estão em conflito com a proteção ecológica e alterações das condições climáticas (San-Miguel-Ayanz e Camia, 2012; Tedim *et al.*, 2014). De acordo com o estudo realizado por Krawchuk *et al.* (2009) as alterações climáticas deverão alterar ainda mais a distribuição geográfica dos incêndios rurais, um processo abiótico complexo que responde a uma variedade de fatores ambientais e socioeconómicos. Os resultados deste estudo ilustram como a disponibilidade de biomassa para queimar e a existência de condições climáticas propícias à combustão determinam a razão pela qual algumas partes do mundo são mais propensas a incêndios.

Como resultado dos incêndios rurais, o papel protetor das florestas é temporariamente diminuído, há perdas substanciais de vidas humanas, danos à propriedade e ao meio ambiente. As previsões de perigo de incêndio, a monitorização da atividade de incêndio, a avaliação dos danos causados e a recuperação pós-fogo são ferramentas essenciais o controlo dos impactos ambientais dos incêndios rurais (San-Miguel-Ayanz e Camia, 2012; Landmann, 2015).

Nos últimos 20 anos, a região Mediterrânica foi a área mais fortemente afetada pelos incêndios (San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2013). Nos países do sul da Europa os incêndios queimaram grandes áreas, sendo os principais países afetados Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia (Nunes *et al.*, 2015; Turco *et al.*, 2016). Estes países do sul da Europa

⁴ O conceito de regime de fogo permite compreender quais os fatores que determinam e restringem (ou favorecem) a atividade do fogo, e assim delinear estratégias e políticas de gestão de incêndios pelo padrão de ocorrência de fogos (por exemplo: Frequência, intensidade, dimensão, época e tipo de fogo) (Mateus, 2015)

apresentam um clima temperado de influência Mediterrânea, que se caracteriza por invernos chuvosos e verões quentes e secos associados a variações geográficas e topográficas relacionadas com a distância ao litoral e a existência de muitas cadeias montanhosas (Pereira *et al.*, 2014).

De acordo com a EEA (2016), a maioria dos incêndios na região do Mediterrâneo são (acidentalmente ou intencionalmente) de origem antrópica e apenas alguns são iniciados por relâmpagos. As condições meteorológicas e a acumulação de combustível desempenham papéis predominantes no aumento dos riscos de incêndio ao longo do tempo. Os incêndios rurais naturais também são frequentes no norte da Europa, mas uma vez que as condições que limitam a ignição e a propagação do fogo facilitam a sua extinção, raramente atingem grandes dimensões. As alterações climáticas poderão vir a ter um importante impacto sobre os incêndios rurais na Europa. Prevê-se que o clima fique mais quente e seco, e devido ao aumento da duração das estações quentes e secas as áreas propensas ao fogo podem expandir-se para cobrir latitudes e altitudes mais elevadas e, deste modo, aumentar a frequência de eventos extremos de incêndio (Loepfe *et al.*, 2010).

O registo das ocorrências de incêndios na Europa é regularmente atualizado no Sistema Europeu de Informações sobre Incêndios Florestais (EFFIS). No entanto, o período coberto não é o mesmo para todos os países e os dados que cobrem mais de 25 anos estão apenas disponíveis para algumas séries de ocorrências. Há uma longa série de dados de incêndios florestais disponíveis para os cinco países do sul da Europa (Espanha, França, Grécia, Itália e Portugal). A área ardida (em hectares) e o número de incêndios por períodos de cinco anos desde 1980 nestes cinco países encontram-se representados na Figura 5. O tamanho da área ardida varia anualmente dependendo das condições do suporte florestal, das condições meteorológicas e da carga de combustível (EEA, 2016).

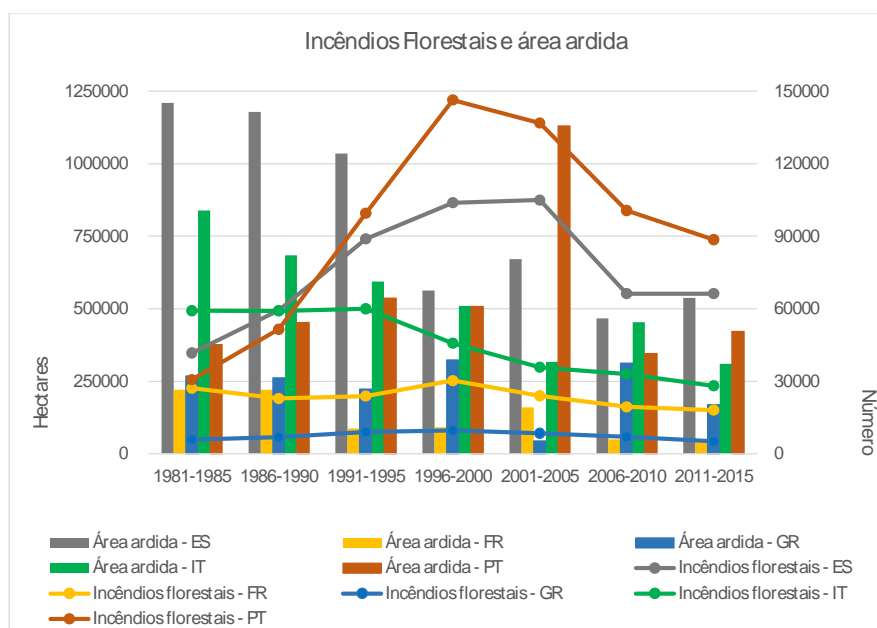
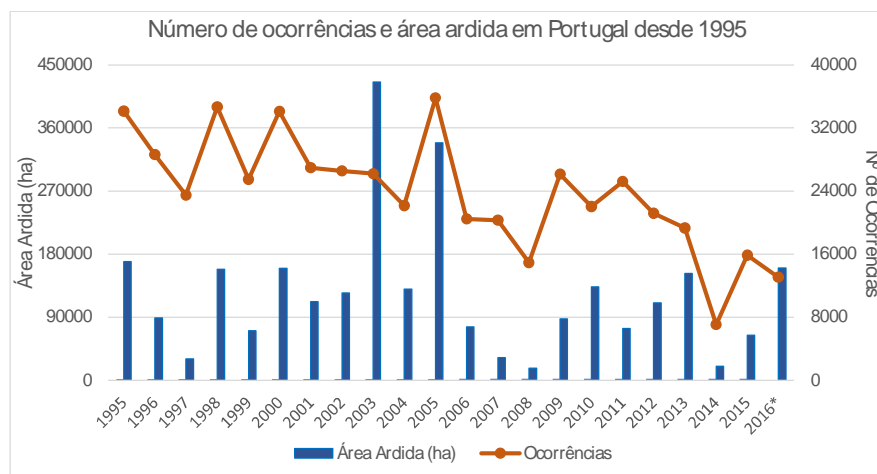


Figura 5. Número de incêndios rurais e área ardida por períodos de cinco anos nos países do sul da Europa (elaboração própria com base em dados de PORDATA, 2017).

As estatísticas variam consideravelmente de um período para o outro, e mesmo entre anos consecutivos, o que sugere que o tamanho da área queimada depende em larga medida das condições meteorológicas. Uma periodicidade plurianual na área queimada pode ser também parcialmente atribuída ao ciclo de biomassa morta que é ardida/acumulada, típico das regiões propensas ao fogo. No entanto, a análise das tendências históricas do número de incêndios por ano é controversa porque a frequência de fogo é fortemente afetada por quaisquer alterações significativas que possam ter ocorrido em anos anteriores nos sistemas de relatórios estatísticos dos países. A frequência de incêndios em Portugal aumentou na década de 1990, estabilizou na década seguinte e diminuiu ligeiramente nos últimos anos (EEA, 2016).

No que diz respeito a Portugal, os incêndios rurais têm atingido grandes dimensões, o que os torna atualmente na principal perturbação florestal e numa das maiores preocupações

ambientais, fazendo com que, no panorama dos países da Europa do Sul, seja o país mais afetado por este problema (Mateus, 2015). Na Figura 6 e através de dados dos Relatórios do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) é possível verificar a evolução do número de ocorrências e área ardida em Portugal continental entre 1995 e 2016⁵.



Nota: 2016* - Dados provisórios reportados a 15 de outubro de 2016

Figura 6. Evolução do número de ocorrências e área ardida em Portugal de 1995 a 2016 (elaboração própria com base em dados de ICNF, 2015; ICNF, 2016^a; ICNF, 2016b).

Ao analisar o gráfico⁶ da Figura 6, o ano de 2003 sobressai por ter o maior valor de área ardida: 425 839 hectares, dos quais 286 055 são referentes a povoamentos florestais e 139 784 a mato. Este valor deverá estar relacionado com uma das maiores vagas de calor de sempre que o país enfrentou (Lourenço, 2007). Dois anos mais tarde, em 2005, uma parte significativa do país voltou a arder e foram contabilizados 339 089 hectares de área ardida. Não foi o maior valor registado de área ardida, mas foi o pior registo tanto em número de ocorrências (mais de 35 mil), como em perdas económicas e materiais. Apesar de ter sido um

⁵ Os dados do gráfico da Figura 6 referentes ao período de 2005 a 2015 estão de acordo com os dados do ICNF, 2015 e ICNF, 2016. As diferenças ligeiras nos valores devem-se a melhorias nos relatórios.

⁶ Ver tabela no Anexo IV para informação adicional sobre o número de ocorrências e área ardida em Portugal.

ano de seca, segundo os dados da Direção-Geral dos Recursos Florestais (DGRF), publicados em 2006, em 2005 cerca de metade da área ardida em grandes incêndios florestais deveu-se a fogos postos (Lourenço, 2007). É possível verificar também uma diminuição no número de ocorrências⁷ desde 2006 em relação aos anos anteriores. No ano de 2009 deu-se um pico no número de ocorrências (26 136), sendo este o valor mais elevado em termos de ocorrências até ao ano de 2016.

Em 2013 ocorreu um menor número de incêndios, no entanto as chamas foram mais devastadoras e consumiram uma maior área (152 690 ha), o que já não se verificava desde 2005. Neste ano, o distrito de Viseu foi o que registou maior área ardida de espaços florestais, com 42 009 hectares de superfície queimada. Cerca de 23% desta área ardida resultou da sequência dos três grandes⁸ incêndios que afetaram a Serra do Caramulo entre 20 de agosto e 02 de setembro e que consumiram ao todo 9 709 hectares de espaços florestais (7 707 ha de povoamentos e 2 002 ha de matos) (ICNF, 2014b). Em 2015, contabilizaram-se em Portugal continental 15 851 ocorrências (um aumento de cerca de 55% em relação a 2014 e um decréscimo de 25% face à média do decénio anterior), das quais 21% correspondem a incêndios florestais e 79% a fogachos. Relativamente à área ardida, esta teve um decréscimo em 2015, de 38% face à média dos últimos dez anos. Em termos absolutos os diferenciais face às respetivas médias do período 2005-2014 traduzem-se em menos 5 393 ocorrências e em menos 39 837 hectares ardidos (ICNF, 2015).

No ano de 2016 foram contabilizadas em Portugal continental, até 15 de outubro, 13 079 ocorrências, das quais 20,5% correspondem a incêndios florestais e 79,5% a fogachos. Quando se comparam os valores do ano de 2016 com os valores do registo histórico dos últimos 10 anos, verifica-se que se observaram menos 25% de ocorrências relativamente à média verificada no decénio 2006-2015 e que ardeu mais do dobro da média da área ardida nesse período. O ano de 2016 apresenta, desde 2006 (até ao dia 15 de outubro), o segundo valor mais baixo em número de ocorrências e o valor mais elevado de área ardida (ICNF, 2016b). Dados recentes do ICNF (2017), indicam, para o período compreendido entre 1 de

⁷ Número de ocorrências refere-se a fogachos (área <1ha) e incêndios florestais.

⁸ Consideram-se grandes incêndios sempre que a área total afetada seja igual ou superior a 100 hectares.

janeiro e 30 de junho de 2017, um total de 6 641 ocorrências (1 662 incêndios florestais e 4.979 fogachos) os quais resultaram em 61 624 hectares de área ardida de espaços florestais, entre povoamentos (41 920 ha) e matos (19 704 ha). Quando comparados os valores do ano de 2017 com o registo histórico dos últimos 10 anos, é de destacar que se registaram mais 27% de ocorrências e quase seis vezes mais área ardida relativamente à média verificada no decénio 2007-2016. O ano de 2017 apresenta, até ao dia 30 de junho, o quinto valor mais elevado em número de ocorrências e o valor mais elevado de área ardida desde 2007.

De acordo com Ganteaume *et al.* (2013) as causas dos incêndios rurais são variadas e a sua distribuição difere entre os países, mas também pode diferir espacialmente e temporalmente dentro do mesmo país. Na Europa, especialmente na bacia do Mediterrâneo, os incêndios são, na sua maioria, antropogénicos, principalmente devido a atos criminosos. O estudo de Fernandes *et al.* (2014) conclui que as mudanças induzidas pelo Homem na inflamabilidade da paisagem e na densidade de ignições podem aumentar ou superar a influência das condições atmosféricas sobre o regime de incêndio nas regiões húmidas do Mediterrâneo.

De acordo com Vilar *et al.* (2016) as mudanças socioeconómicas que ocorreram na Europa nas últimas décadas (como o abandono de terras agrícolas, o despovoamento de áreas rurais, as mudanças nas políticas agrícolas e florestais, etc.) impulsionaram as transformações da paisagem que afetam os níveis de risco de fogo através de processos como, por exemplo, aumento de terras não administradas, acumulação de biomassa morta e viva e novos usos da floresta. Este contexto socioeconómico pode explicar a ignição de incêndios intencionais e não intencionais. No entanto, os diversos fatores ambientais (nomeadamente os ligados ao clima, biomassa/combustível e topografia) são igualmente determinantes na ocorrência dos incêndios florestais, especialmente nas regiões de clima mediterrânico (Ganteaum *et al.*, 2013).

A insuficiência na qualidade e quantidade de informação impede o desenvolvimento de comparações precisas e confiáveis entre os diversos países. Existem inúmeras diferenças entre os países europeus em relação a: (1) qualidade da investigação da causa do fogo, que explica a razão dos incêndios "não investigados" continuarem a ser a categoria predominante

nas estatísticas de incêndios rurais em muitos países; (2) a heterogeneidade das classificações nacionais, sobre as causas das categorias de incêndio, os critérios de classificação e o nível de detalhe; (3) o período de tempo em que as bases de dados nacionais estão disponíveis nos países europeus (a maioria começou no último quarto do século XX); e, por fim, (4) o antigo esquema de classificação de incêndio florestal europeu é muito restritivo (Tedim *et al.*, 2014).

Um esquema de classificação comum das Causas de Incêndio foi criado em 2012, para que os países europeus pudessem registar as causas de incêndio ao relatar dados nacionais ao banco de dados europeu sobre incêndios. Este novo esquema de classificação hierárquica identifica 29 classes de causa do fogo, organizadas em oito grupos e seis categorias genéricas (desconhecidas, naturais, acidentais, negligenciadas, intencionais e reacendimentos) (Camia *et al.*, 2013). No entanto, a maioria dos países têm os seus próprios esquemas de classificação para causas de incêndios, o que pode fornecer informações significativamente mais importantes. Nos últimos anos, os países também foram convidados a fornecer os seus próprios códigos de causa (juntamente com um documento separado que fornece as explicações dos códigos) para o banco de dados (European Commission, 2012).

Desde o ano de 2001, a classificação⁹ das causas dos incêndios rurais utilizada em Portugal Continental é estruturada hierarquicamente em três níveis, onde cada causa é especificada com o recurso a três algarismos, sendo o primeiro deles, referente à categoria de causas, o segundo diz respeito ao grupo onde é discriminada as atividades específicas e, o terceiro, separa em subgrupos as respetivas atividades e pormenoriza os comportamentos e atitudes associadas (Fernandes, 2015). Na Figura 7 são apresentados os valores de causas de incêndios rurais em Portugal, entre os anos de 2003 a 2015, estas causas estão agrupadas em causas não investigadas e causas investigadas, estas últimas são repartidas em dois grupos, investigadas determinadas e investigadas determinadas.

⁹ Ver documento da codificação e definição das categorias das causas dos incêndios no Anexo I.

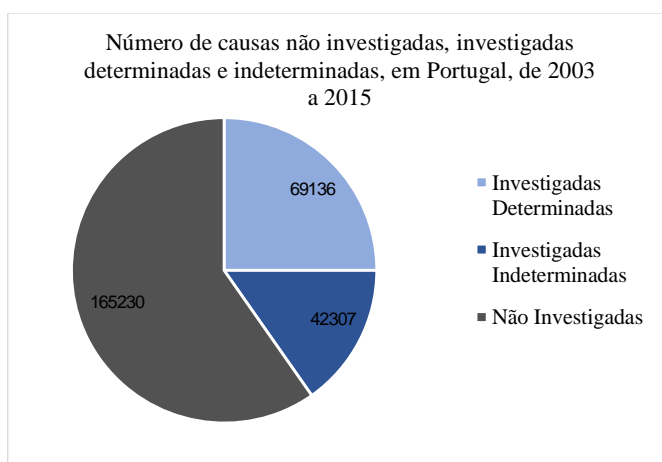


Figura 7. Distribuição dos valores correspondentes às causas não investigadas, determinadas e indeterminadas (Elaboração própria com base nos dados de: ICNF, 2014a; ICNF, 2015 e ICNF, 2016a).

É possível constatar que, no total de 276 673 ocorrências entre o ano de 2003 e 2015, 165 230 (59,7%) não foram investigadas, e embora 111 443 ocorrências tenham sido investigadas, 15,2% das causas não foram apuradas. Este valor das causas não investigadas obriga a uma reflexão sobre os motivos que conduziram à sua não identificação, para que assim, possam ser corrigidos e, deste modo, afinar o apuramento das causas (Lourenço *et al.*, 2012).

Na Figura 8 são apresentadas as percentagens das categorias de causas do número de ocorrências investigadas em Portugal entre o ano de 2003 e 2015. Ao agrupar o universo das ocorrências investigadas durante estes anos (111 443 no total), pelo primeiro nível de categoria das causas, de acordo com o Anexo I, resulta que as causas “indeterminadas”, o “uso do fogo” e o “incendiário” são as categorias responsáveis pela maior percentagem de ocorrências de incêndios, com 38%, 28% e 22%, respetivamente. Estatisticamente, entre 2003 e 2015, de todas as ocorrências investigadas em Portugal continental, a categoria que mais se salientou foi a das causas “indeterminadas”. No entanto, as causas “indeterminadas” não indicam origens concretas, pelo que o “uso do fogo”, que aparece em segundo lugar, com

31 548 do número de ocorrências e seguido pelo do “Incendiarismo” com 24 582 do número de ocorrências, é de facto a primeira causa de incêndios em Portugal.

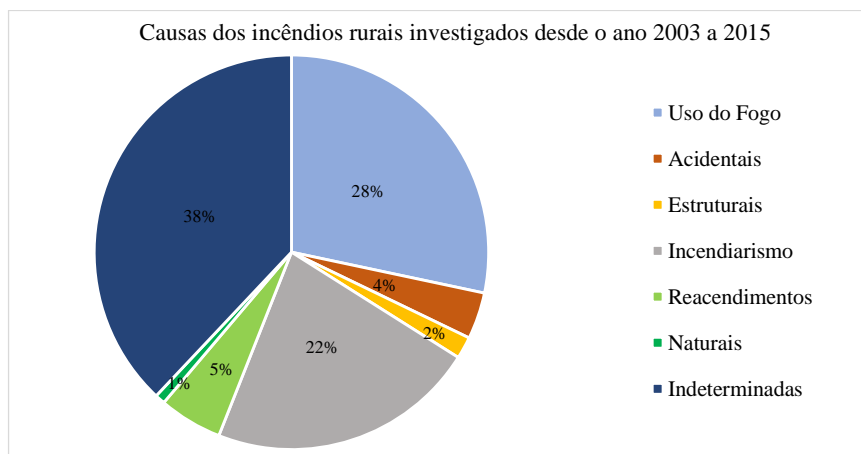


Figura 8. Distribuição da percentagem anual de ocorrências em Portugal, por categorias de causa, entre 2003 e 2015 (elaboração própria com base nos dados de: ICNF, 2014a; ICNF, 2015 e ICNF, 2016a).

Relativamente às causas “indeterminadas”, este valor revela um grande défice de eficácia no que respeita à averiguação e ao apuramento das causas de ignição dos incêndios rurais em Portugal, uma vez que das causas investigadas, quase em cerca de 40% dos casos não foi possível apurar a causa. As razões que poderão contribuir para essa investigação inconclusiva resultam, em primeiro lugar, da falta de recursos humanos e, em segundo lugar, da destruição dos indícios/evidências físicas, devido à falta de cuidado dos bombeiros na sua preservação, e ainda, de alguma demora na chegada dos meios de investigação ao local da ocorrência (Lourenço *et al.*, 2012). Em alturas em que o número de ocorrências é bastante elevado, acorrer a todas elas num curto intervalo de tempo é difícil, razão pela qual algumas só são investigadas decorridos vários dias, o que dificulta o trabalho dos investigadores. Por outro lado, a existência de algum descuido das equipas de investigação na procura de indícios ou no seguimento das pistas que poderiam ajudar a determinar as causas do incêndio, são razões que convergem para a existência de tão elevado número de causas que ficam por

apurar, e que, por conseguinte, são classificadas como indeterminadas (Lourenço *et al.*, 2012). No entanto, é crucial a manutenção deste procedimento para que assim, seja exequível a garantia de provas que suportem a instrução do processo (ICNF, 2014a).

No que toca ao “uso do fogo” (onde se enquadram, nomeadamente, as queimas, queimadas, fogueiras, cigarros e o lançamento de foguetes), esta causa está associada aos atos de incúria e desleixo por ação humana (ICNF, 2014a). Algumas das ocorrências em que o uso do fogo tem provocado incêndios estão ligadas ao processo de confeção de alimentos, em locais próximos a espaços propícios à propagação, ou no processo de renovação de pastagens em que, muitas vezes, se iniciam queimadas sem qualquer vigilância, e que algumas acabam por transformar-se em incêndios de grandes proporções (Lourenço *et al.*, 2012).

O “incendiarismo” que na prática é a segunda causa identificada, corresponde às causas de incêndio que sugerem uma origem criminosa. Esta categoria está associada a situações de irresponsabilidade e dolo, muitas vezes aliadas a interesses económicos, desejo de vingança, vandalismo ou simples práticas pirómanas, o que contribui para a dificuldade do apuramento deste tipo de causa (Lourenço *et al.*, 2012).

As ocorrências de incêndio resultantes de causas naturais, associadas a descargas elétricas resultantes de trovoadas, são muito pouco frequentes (com apenas 1% das causas), comprovando assim, que o fator humano é o grande responsável pela ocorrência de incêndios, o que significa que existe a possibilidade de intervir no sentido de os evitar, nomeadamente através de ações de sensibilização (Lourenço *et al.*, 2012).

São vários os impactos dos incêndios sobre as diversas funções económicas, sociais e ambientais dos espaços florestais. Estes afetam a produção de bens, o solo e a água, a capacidade de sequestro de carbono, a biodiversidade, e ainda potenciam outros fatores de stresse, como as pragas florestais e as plantas invasoras lenhosas que, por sua vez, também poderão vir a ser favorecidos pelas alterações climáticas (APA, 2013). As graves consequências ecológicas e socioeconómicas decorrentes dos incêndios rurais, maioritariamente provocados por causas de natureza antrópica, torna urgente a definição de

estratégias dirigidas para a redução do número de ocorrências. O conhecimento das causas dos incêndios é fundamental para estabelecer os domínios específicos onde se deve intervir no âmbito da prevenção, incluindo a sensibilização, a fiscalização e a responsabilização (ICNF, 2014a).

3.2. Os incêndios como fator de degradação dos ecossistemas

O fogo que não é controlado pode ter um efeito destruidor a curto, médio e longo prazo sobre os ecossistemas e os serviços que eles prestam à sociedade, tendo assim capacidade de causar impactos ambientais, sociais e económicos (Keane *et al.*, 2008). Entre os mais importantes efeitos negativos do fogo, e de outros processos de alteração da ocupação do solo, sobre o funcionamento dos ecossistemas inclui-se a redução da capacidade de regular o ciclo da água, com as consequentes alterações da quantidade, qualidade e sazonalidade da água para uso humano (Teclé e Neary, 2015). De facto, a ocorrência de fogos tem sido vista como uma das principais causas da alteração dos processos físicos, químicos e biológicos que sucedem nos ecossistemas, tanto a curto como a longo prazo. O fogo altera as características do solo e da cobertura vegetal, o que conduz consequentemente à aceleração dos fenómenos erosivos e à alteração dos processos hidrológicos (Ferreira *et al.*, 2009).

Na figura seguinte (Figura 9) é possível verificar uma área devastada pelo incêndio na Serra do Caramulo, onde é visto o nível de degradação ecológica e ambiental da paisagem.



Figura 9. Degradação visível após o incêndio na Serra do Caramulo (Mansilha *et al.*, 2017).

De modo a entender a complexidade das alterações causadas pelos fogos rurais é fundamental analisar os efeitos adversos dos incêndios rurais que se estendem a vários componentes, tais como: biota, solo, ar e água (Silva *et al.*, 2016). Ao nível da flora, e dependendo de vários fatores, nomeadamente da intensidade, duração e local do fogo, da época do ano, e das características da vegetação, a consequência mais conhecida dos incêndios revela-se pela alteração ou eliminação parcial/completa da vegetação (manta morta, vegetação arbórea e arbustiva) (Silva *et al.*, 2016). Ao nível da fauna, lesões ou mesmo a morte de alguns indivíduos podem ser exemplos de efeitos diretos e imediatos dos incêndios. No que se refere a efeitos a longo prazo, podem ocorrer alterações nos recursos disponíveis, como por exemplo a fragmentação e degradação do habitat e alterações na quantidade e qualidade de alimento disponível (Moreira *et al.*, 2010).

No solo, dependendo das temperaturas atingidas no incêndio, pode ocorrer remoção significativa da matéria orgânica e perda considerável de nutrientes, retenção de cinzas,

formação de uma camada hidrofóbica, alterações na porosidade, na capacidade de infiltração e no armazenamento da água. Como resultado da perda da vegetação, o solo encontra-se mais exposto e com uma maior vulnerabilidade aos processos erosivos (Certini, 2005).

O fumo libertado da queima da biomassa abrange um vasto número de produtos químicos, incluindo partículas e compostos gasosos. Os poluentes atmosféricos típicos são: partículas em suspensão (PM), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), óxidos de azoto (NO_x), óxido nitroso (N₂O) e amoníaco (NH₃) (Martins, 2007). Os efeitos variam de acordo com o tipo de poluente e com as quantidades emitidas, afetando a química da atmosfera, a visibilidade, a saúde humana e o clima, causando a deposição de cinzas nos solos e cursos de água e a contaminação de aquíferos (Pereira *et al.*, 2006).

A influência do fogo sobre a água é indiretamente manifestada através da mudança da natureza da vegetação, da cobertura do solo e das características físicas e químicas da área queimada, que podem afetar o ciclo da água, a qualidade da água e a vida aquática. O efeito depende da gravidade e da frequência do fogo (Teclé e Neary, 2015).

3.3. Impactos dos incêndios na regulação hidrológica e nos serviços ecossistêmicos associados

Os incêndios rurais podem afetar os recursos hídricos de várias maneiras. Por exemplo, podem gerar detritos nos reservatórios de água, e este sedimento extra pode retardar ou danificar os processos de filtração de água. Os detritos também podem alterar a composição química da água, através de substâncias provenientes das cinzas e do material queimado (Hartse *et al.*, 2014).

Embora o funcionamento do ciclo hidrológico (Figura 10) seja de natureza complexa e dinâmica, pode ser simplificado como um sistema de componentes de armazenamento de água e os fluxos de água sólidos, líquidos ou gasosos dentro e entre os pontos de armazenamento (Neary *et al.*, 2005).

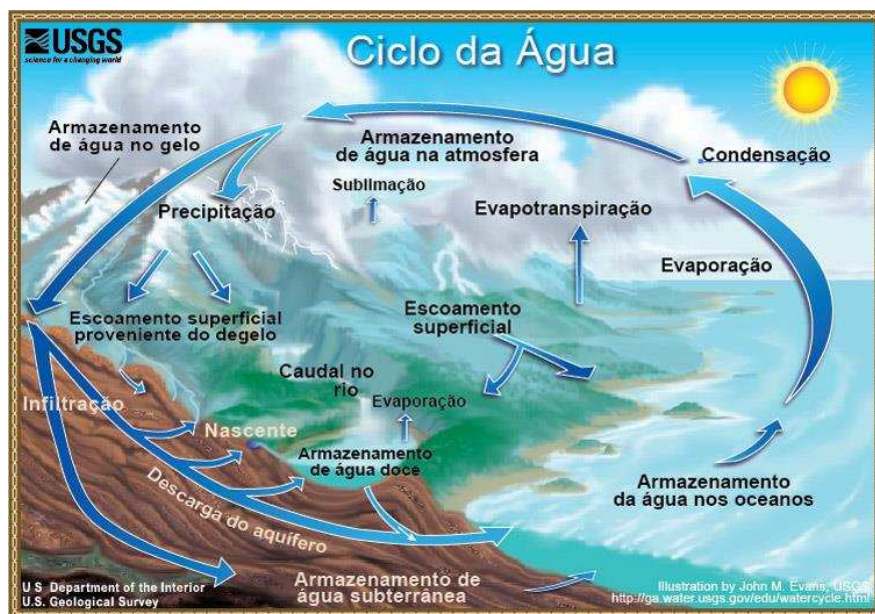


Figura 10. Representação do ciclo hidrológico (USGS, 2017).

O ciclo hidrológico inicia-se com a evaporação da água da superfície do oceano e, à medida que o ar húmido sobe este arrefece e o vapor de água condensa-se para formar as nuvens. A humidade é transportada pela atmosfera à volta do globo até voltar à superfície na forma de precipitação. Uma vez que a água chega ao solo, podem ocorrer três processos – evaporação, escorrência superficial ou infiltração da água. Parte da água infiltrada entra nos aquíferos e constitui a água subterrânea. Por sua vez, a água subterrânea circula até aos oceanos, rios e lagos. A água pode, também, regressar à atmosfera através da evapotranspiração (Department of Atmospheric Sciences, 2016).

As alterações no ciclo hidrológico após o fogo são notadas através da redução do coberto vegetal e na diminuição da capacidade de infiltração do solo a qual provoca um aumento do volume e da velocidade da escorrência e do escoamento superficial, de onde resulta a diminuição do tempo de concentração da bacia hidrográfica e o aumento do caudal de ponta de cheia (Shakesby e Doerr, 2006; Lança *et al.*, 2014). A escorrência superficial é

influenciada por diversos fatores, tais como a intensidade e a duração da precipitação, a cobertura vegetal, as propriedades hidrológicas do solo e o declive. O volume e a distribuição da precipitação logo após o incêndio, antes da restauração da cobertura vegetal, determinam, em grande medida, a erosão pós-incêndio e os impactos sobre a qualidade da água (Smith *et al.*, 2011).

Nas áreas de floresta, é raro a precipitação exceder a capacidade de infiltração, o que faz com que a velocidade de deslocamento da água diminua significativamente e permite o armazenamento da precipitação no solo e nos aquíferos (Moreira *et al.*, 2010). Após o fogo, a camada hidrófoba e a camada hidrofílica sobrejacente condicionam os processos hidrológicos e erosivos. A camada hidrófoba diminui fortemente a capacidade de infiltração, dando origem à escorrência, fazendo com que a camada de cinzas hidrofílica se movimente facilmente, erodindo assim uma importante fonte de nutrientes. A existência de macroporos no solo, muitas das vezes resultantes da queima de raízes, permite a infiltração pontual de alguma da escorrência. A transição das vertentes para os cursos de água também apresenta alterações muito significativas, como se pode observar na Figura 11.

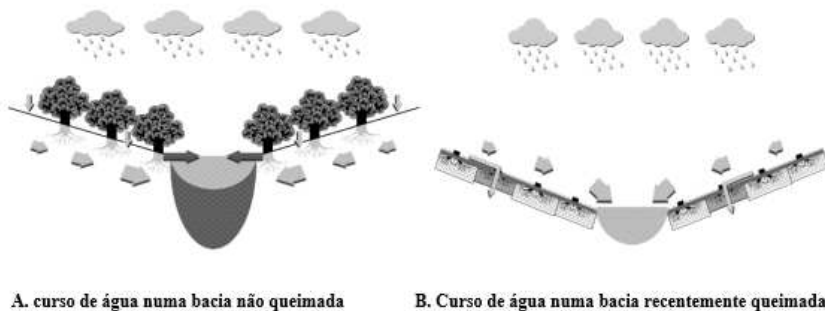


Figura 11. Representação do escoamento de precipitação numa vertente até um curso de água (Moreira *et al.*, 2010).

A recuperação da vegetação e das respostas hidrológicas após o incêndio pode ser limitada por vários fatores, tais como: condições meteorológicas e hidrológicas severas,

plantas com potencial de regeneração reduzido, solos com elevado grau de erosão, declives acentuados, severidade do incêndio e a gestão após o fogo (Soulis *et al.*, 2012).

3.4. Impactos dos incêndios rurais sobre a qualidade da água

3.4.1. Impactos gerais

No que se refere aos impactos dos incêndios rurais sobre a qualidade da água¹⁰, os incêndios são aqui analisados como fator determinante da qualidade da água para uso humano. São destacados de seguida, a título de exemplo, alguns dos estudos realizados acerca deste tema.

Ferreira *et al.* (2005) estudaram as implicações hidrológicas (na água superficial) dos incêndios rurais e a consequente exportação de nutrientes sob a forma de solutos, em duas sub-bacias hidrográficas da bacia hidrográfica do rio Águeda. A bacia hidrográfica da Lourizela sofreu um grande incêndio rural em agosto de 1991, ardendo na sua totalidade. A bacia de Bouça foi utilizada como controlo, por não haver memória de fogos florestais nos últimos 50 anos. As medições foram realizadas em locais com *Pinus pinaster* ardidos na região central de Portugal. Os resultados comprovam que houve uma exportação rápida pelas chuvas de nutrientes (SO₄, Cl, Ca, Mg e K) durante os primeiros quatro meses após o incêndio. A concentração de nutrientes na água superficial diminuiu gradualmente ao longo dos quatro meses em função da diminuição da quantidade de cinzas na superfície do solo. Após este período, só foi detetado perda de nutrientes na ocorrência de precipitação extrema.

No projeto descrito por Ferreira *et al.* (2009) foi estudado e avaliado o impacto dos fogos no meio hídrico superficial e subterrâneo, considerando as alterações quantitativas no meio hídrico – escoamento superficial, recarga, evapotranspiração – e de qualidade. Na avaliação da alteração da qualidade da água foram consideradas como fontes de contaminação o solo ardido e as cinzas da matéria vegetal ardida, cuja caracterização foi realizada em ensaios de queima e de lixiviação. Foram avaliados poluentes, nomeadamente

¹⁰ O termo “qualidade da água” é utilizado para descrever as propriedades físicas, químicas e biológicas da água, geralmente em relação à sua adequação para um uso específico (Pike *et al.*, 2009).


os elementos inorgânicos, os metais pesados e os hidrocarbonetos. Este trabalho visou a caracterização e avaliação da qualidade e evolução da poluição ao longo do tempo da amostragem das águas superficiais e subterrâneas. Foi avaliado o caso de um incêndio rural em Manteigas e por fim realizada uma análise das diversas medidas de prevenção e mitigação conhecidas, avaliando a sua eficácia para diferentes condições do meio afetado pelo fogo.


Meneses (2013) avaliou o efeito de um incêndio rural sobre as propriedades físico-químicas da água da Ribeira de São Domingos (Região Oeste de Portugal), resultante do arrastamento de elementos e compostos químicos pela água de escorrência superficial da área ardida. Foram selecionados dois locais de amostragem na ribeira (um a montante e outro a jusante da área ardida), foram feitas quatro colheitas de água em diferentes momentos, após o incêndio. Nas amostras de água recolhidas foram feitas determinações de pH, da condutividade elétrica e dos teores de N, P, Ca, Mg, K e Na. Os resultados obtidos revelaram ter havido entrada de nutrientes na ribeira, arrastados pela água da precipitação que escoou superficialmente na área ardida. Este arrastamento foi mais elevado na sequência da primeira precipitação após o incêndio, reduzindo-se depois ao longo do tempo.


O estudo realizado por Tecle e Neary (2015) analisa dados de dois dos maiores incêndios rurais no Arizona, os incêndios *Rodeo Chediski* e *Wallow*, e demonstra que o problema afetava negativamente a qualidade da água de muitos riachos e lagos. Os resultados do estudo serviram para encorajar as agências governamentais a desenvolver melhores e mais pró-ativas políticas, diretrizes e mecanismos de financiamento, para que assim, seja possível reduzir drasticamente os incêndios rurais catastróficos como os acima referidos, que afetaram drasticamente a qualidade de água e outros valores do ecossistema em muitas áreas do Arizona. O efeito e influência do fogo de um incêndio sobre a qualidade da água depende da forma como as características do fogo (frequência, intensidade, duração e extensão espacial da zona ardida) interagem com as características da bacia hidrográfica (clima, declive, tipo de solo, geologia, uso do solo e porção da cobertura vegetal ardida). Esta interação é complexa e variável, ou seja, incêndios diferentes na mesma bacia hidrográfica podem ter características distintas e gerar diferentes efeitos sobre a qualidade da água (Ranalli, 2004; Tecle e Neary, 2015).


As perdas de água por escorrência superficial constituem a principal fonte de contaminação de águas superficiais como ribeiras, rios, lagos e albufeiras. Esta contaminação refere-se ao facto de a água da escorrência superficial poder conter elevados teores de sais, nutrientes e sedimentos resultantes do fenómeno da erosão. Os efeitos são mais intensos em zonas com declives acentuados e dependem também do tipo de solo, da quantidade de vegetação destruída, da intensidade e da duração do fogo e do intervalo entre incêndios (Laranjeira e Leitão, 2008). A contaminação de águas subterrâneas resulta da recarga dos aquíferos por água afetada pelos incêndios. A água infiltrada pode lixiviar os elementos das cinzas depositados. Por sua vez, esta água pode alimentar o caudal de base de um rio, especialmente durante os períodos em que as chuvas são escassas ou nulas (Laranjeira e Leitão, 2008).

É importante destacar alguma legislação portuguesa mais relevante no que concerne à qualidade de água:

 **Decreto-Lei n.º 306/2007**, de 27 de agosto, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 98/83/CE do Conselho Europeu, e estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano.

 **Decreto-Lei n.º 103/2010**, de 24 de setembro, que procede à transposição para a ordem jurídica interna da Diretiva n.º 2008/105/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, relativa a normas de qualidade ambiental para substâncias prioritárias e outros poluentes, no domínio da política da água, tendo em vista assegurar a redução gradual da poluição e alcançar o bom estado das águas superficiais.

 **Decreto-Lei n.º 208/2008** de 28 de outubro, estabelece o regime de proteção das águas subterrâneas contra a poluição e deterioração, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de dezembro, relativa à proteção da água subterrânea contra a poluição e deterioração.

 **Diretiva n.º 2006/118/CE** estabelece padrões de qualidade das águas subterrâneas e introduz medidas para prevenir ou limitar a introdução de poluentes, estabelecendo

critérios de qualidade que tenham em conta as características locais e permite novas melhorias a serem feitas com base na monitorização de dados e novos conhecimentos científicos.

3.4.2. Modificação das características físicas e químicas da água

A presença de contaminantes e as características da água são usadas para indicar a qualidade da água, e estes indicadores podem ser categorizados como: i) biológicos (bactérias, algas); ii) físicos (temperatura, turbidez e clareza, cor, salinidade, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos); iii) químicos (pH, oxigénio dissolvido, nutrientes (incluindo azoto e fósforo), compostos orgânicos e inorgânicos); iv) organoléticos (odor, cor, sabor); v) radioativos (emissores de radiação alfa, beta e gama) (Meixner e Wohlgemuth, 2004).

A modificação das propriedades físico-químicas da água e a alteração da qualidade da água devido ao arrastamento de determinados elementos químicos das áreas ardidas para os cursos de água, é um exemplo dos vários problemas ambientais causados pelos incêndios rurais (Meneses, 2013).

De acordo com Ranalli (2004) entender as mudanças químicas que ocorrem no solo durante o incêndio e o percurso pelo qual os nutrientes são transportados de áreas ardidas para os corpos de água superficiais são fundamentais para compreender as causas dos efeitos temporais e espaciais dos incêndios sobre a qualidade da água. As características físicas e químicas do solo são alteradas pelo aquecimento causado pelos fogos rurais, cujos efeitos adversos se fazem sentir posteriormente nas características das águas a jusante. Estas alterações originam diminuição da capacidade de infiltração e o aumento da erosão dos solos (Stein e Brown, 2009; Leitão *et al.*, 2011).

Os fluxos hídricos após o fogo podem transportar materiais sólidos e dissolvidos que provocam alterações em vários parâmetros de qualidade da água, tais como: nutrientes, sulfatos, pH, sólidos totais dissolvidos, turbidez, carbono orgânico, cloreto, ferro, cor, sabor e odor, que modificam desta forma, a qualidade da água para fins humanos, agrícolas ou industriais (Neary *et al.*, 2005; Sham *et al.*, 2013).

De acordo com Landsburg e Tiedemann (2000) os componentes químicos que mais preocupação causam, pela suscetibilidade que existe de serem transportados da área ardida até aos cursos de água, são os nitratos e os nitritos. Todavia podem ocorrer outras alterações pela modificação de outros parâmetros, como é o caso da variação do pH, concentração de sulfato, cloreto, ferro, total de sólidos dissolvidos, entre outros componentes, com relevo para os fosfatos, visto serem compostos com elevados impactos na qualidade da água, devido à sua capacidade de alteração da cor, odor e sabor, mas também por provocarem outros processos, como é o caso da aceleração da eutrofização da água.

A acelerada mineralização da matéria orgânica e a suspensão ou diminuição dos processos de assimilação por parte das plantas, resultante da eliminação parcial ou total da vegetação, pode também afetar de forma negativa a qualidade da água, podendo conduzir ao aumento da concentração de nutrientes (e.g. fósforo) e/ou elementos poluentes orgânicos e inorgânicos (e.g. metais pesados), influenciando desta forma o sistema aquático e consequentemente a biota que dele depende, assim como diversos aspetos de carácter social e económico (Martinho, 2008).

O aumento do perigo de inundações e deslizamentos de terreno no período após o fogo requerem parte da atenção prestada aos incêndios rurais e aos seus impactos no ciclo hidrológico. No entanto, embora as ameaças à saúde e à segurança humanas causadas por inundações, fluxos de detritos e deslizamentos de terreno motivem uma maior preocupação, os impactos da qualidade da água e os seus riscos associados são, no entanto, mais alarmantes (Meixner e Wohlgemuth, 2004).

Além destes componentes acima descritos, os fogos rurais libertam poluentes adicionais tais como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HAPs), de grande preocupação ambiental, devido ao facto de serem mutagénicos, carcinogénicos e teratogénicos, cujo comportamento tem vindo a ser igualmente estudado (Olivella *et al.*, 2006; Vila-Escalé *et al.*, 2007; Laumann *et al.*, 2011; Mansilha *et al.*, 2014).

3.4.3. O caso particular dos Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) são poluentes orgânicos persistentes (POPs) que, devido ao seu elevado impacto no meio ambiente, são motivo de inúmeros estudos (Macdonald *et al.*, 2005) e abrangem um enorme grupo de contaminantes que são formados, principalmente, como resultado da combustão incompleta de material orgânico. São compostos que possuem dois ou mais anéis aromáticos condensados e contêm somente átomos de carbono e hidrogênio (Alawi e Azeez, 2016).

Os HAPs têm origem em duas fontes primárias: (i) são formados por combustão incompleta de matéria orgânica (por exemplo em incêndios rurais, ou pela combustão de combustíveis fósseis) ou (ii) pela diagênese, principalmente de material vegetal, a grande profundidade na crosta terrestre. Estas fontes são conhecidas como pirogénicas e petrogénicas, respetivamente. Estes processos não produzem uma única estrutura molecular, mas geram compostos cíclicos com 2 a 7 anéis de benzeno fundidos em diferentes configurações (Wickliffe *et al.*, 2014).

De acordo com a *World Health Organization* (WHO, 2013a) os HAPs são um grupo de várias centenas de compostos orgânicos individuais que contêm dois ou mais anéis aromáticos e geralmente ocorrem como misturas complexas em vez de compostos únicos. Estes são classificados pelo seu ponto de fusão e ponto de ebulição, pressão de vapor e solubilidade na água, dependendo da sua estrutura. A maioria dos HAPs, especialmente quando o peso molecular aumenta, são solúveis em solventes orgânicos não-polares e são quase solúveis em água polar (Abdel-Shafy e Mansour, 2015). Existem mais de 100 HAPs, 16 dos quais foram classificados como poluentes prioritários, devido à sua toxicidade, pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Os mesmos são descritos como mutagénicos e carcinogénicos em seres humanos: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, antraceno, fenantreno, fluoranteno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(k)fluoranteno, benzo(ghi)pirileno, indeno(1,2,3-cd)pireno (Tongo *et al.*, 2016).

Devido à sua baixa solubilidade e elevada afinidade para a matéria em partículas, os HAPs não são normalmente encontrados na água em concentrações notáveis. A sua presença em águas superficiais ou subterrâneas é uma indicação de uma fonte de poluição. Estes são lentamente biodegradáveis sob condições aeróbicas e são estáveis à hidrólise. As concentrações relativas de HAPs no ar, água e alimentos são geralmente as mesmas, embora isso possa mudar dependendo de certas fontes de poluição. Em água potável, os HAPs detetados nas concentrações mais elevadas são fluoranteno (AF), fenantreno, pireno (PY) e antraceno. Dos seis HAPs geralmente medidos em água para fins regulatórios, AF é o único detetado em qualquer extensão significativa (WHO, 2013a).

Devido às suas fontes generalizadas e características persistentes, os HAPs dispersam-se na atmosfera e ocorrem em inúmeros lugares. Os seres humanos são expostos a misturas de HAPs em fase gasosa ou em partículas (PM) no ar ambiente. A exposição a longo prazo a concentrações elevadas de HAPs está associada a diversos problemas de saúde. Uma vez que alguns HAPs são considerados cancerígenos, a inalação de partículas HAP é um risco potencialmente grave para a saúde, ligado a um risco excessivo de cancro do pulmão. Assim, os estudos sobre HAPs em partículas (PM), como PM10 e PM2.5 no ar ambiente, tornaram-se o centro de uma maior atenção na sua pesquisa nos últimos anos (Lee e Vu, 2010).

Os efeitos na saúde humana dependem principalmente do comprimento e da via de exposição, da quantidade ou concentração de HAPs, da toxicidade inata dos HAPs, e de inúmeros fatores subjetivos, como a idade e o estado de saúde pré-existente. A capacidade dos HAPs em provocar efeitos a curto prazo na saúde humana não está clara. Os efeitos na saúde decorrentes da exposição prolongada a HAPs podem incluir diminuição da função imunológica, cataratas, danos nos rins e no fígado, problemas respiratórios e o contato repetido com a pele pode induzir a inflamação da pele. Com a exposição aos HAPs, os efeitos nocivos dependem em grande parte da forma como o indivíduo está exposto (Rengarajan, 2015).

Algumas entidades estabeleceram critérios de avaliação dos HAPs quanto à sua classificação carcinogénica. Segundo a lista de poluentes prioritários publicada em 2013 pela

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), os HAPs encontram-se em 9º lugar, numa lista de 275 poluentes, devido às suas propriedades carcinogénicas e mutagénicas. O Benzo(a)pireno encontra-se em 8º lugar e o Benzo(b)fluoranteno em 10º (ATSDR, 2013).

As instituições americanas, como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) classificou 16 HAPs como poluentes prioritários, devido à sua toxicidade, e a Comissão Europeia apresenta a legislação na qual estão estabelecidos valores limite para estes compostos no ambiente.

A legislação portuguesa (DL n.º 306/2007, de 27 de agosto) estabelece valores paramétricos para cinco HAPs: benzo(a)pireno (BaP), benzo(ghi)perileno (BghiP), benzo(b)fluoranteno (BbF), benzo(k)fluoranteno (BkF), indeno(1,2,3-cd)pireno (IcdP) (Figura 12).

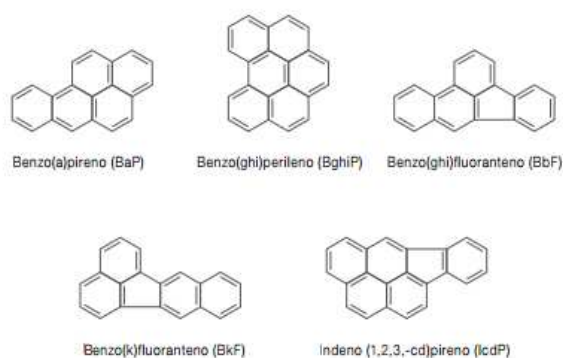


Figura 12. Estruturas dos cinco HAPs considerados na legislação portuguesa (DL. n.º 306/2007).

No Decreto-Lei n.º 103/2010 de 24 de setembro onde são estabelecidas normas de qualidade ambiental para determinar poluentes classificados como substâncias prioritárias, e assim alcançar o bom estado das águas superficiais, também é divulgada uma lista de substâncias prioritárias no domínio da política da água na qual os HAPs são classificados como substâncias prioritárias e prioritárias perigosas.

3.5. Incêndios, qualidade da água e bem-estar humano

A água é essencial para a vida. A quantidade de água doce na Terra é limitada e a sua qualidade está sob uma pressão constante. Preservar a qualidade da água doce é importante para o abastecimento de água potável, a produção de alimentos e o uso recreativo de água (WHO, 2017). A qualidade da água, usada para diferentes usos, tem um impacto importante na saúde. A água de má qualidade pode causar doenças que se manifestam em diferentes escalas de tempo. As iniciativas para gerir a segurança da água não só apoiam a saúde pública, como também promovem o desenvolvimento socioeconómico e o bem-estar (WHO, 2013b).

De acordo com o *United Nations Department of Economic and Social Affairs* (UNDESA, 2014) a qualidade da água superficial e subterrânea é determinada tanto por influências naturais como por influências antropogénicas. Sem as influências humanas, a qualidade da água seria determinada pelos processos atmosféricos de evapotranspiração, pela deposição de poeiras e sal pelo vento, pela lixiviação natural de matéria orgânica e nutrientes do solo, por fatores hidrológicos que levam ao escoamento e por processos biológicos em um ambiente aquático que podem alterar a composição física e química da água.

Globalmente, o problema da qualidade da água mais predominante é a eutrofização, resultado de cargas de alto teor de nutrientes (principalmente fósforo e nitrogénio), o que prejudica substancialmente os usos benéficos da água. As principais fontes de nutrientes incluem efluentes industriais e *inputs* atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e de incêndios florestais. Os lagos e os reservatórios são particularmente suscetíveis aos impactos negativos da eutrofização devido à sua dinâmica complexa e aos tempos de residência de água relativamente mais longos (UNDESA, 2014). A contaminação de reservas de água por agentes biológicos, químicos e radiológicos afeta a cada ano a saúde de milhões de indivíduos. Compreender a qualidade da água e o impacto da poluição sobre os recursos hídricos é vital para a saúde pública mundial (Meinhardt, 2017).

Finlay *et al.* (2012) demonstraram através de uma revisão de evidências publicadas que a saúde humana pode ser gravemente afetada por incêndios rurais, e determinadas populações são especialmente vulneráveis. O fumo libertado da queima da madeira detém

níveis elevados de partículas e toxinas, o que pode resultar em problemas respiratórios, cardiovasculares, oftalmológicos e psíquicos. Além disso, o contato direto com o fogo provoca queimaduras que requerem cuidados e trazem risco de complicações de vários órgãos. As preocupações mais amplas com a saúde decorrentes da propagação da poluição do ar, da água e da terra são motivo de preocupação. O acesso às áreas afetadas e a comunicação com as populações que vivem dentro delas é crucial para reduzir o risco.

O artigo de Fowler (2003) sintetiza 30 anos de pesquisa sobre os impactos dos incêndios rurais na saúde humana. Resume o estado de conhecimento atual sobre, entre outros tópicos, os efeitos biofísicos da contaminação ambiental resultante dos incêndios e as referidas medidas de cuidados de saúde. Segundo a literatura, os investigadores afirmam que o grau em que os incêndios influenciam a saúde humana (através da qualidade do ar e da água), varia do comportamento do fogo, das condições meteorológicas e do comportamento humano.

O *New Mexico Environment Department* (2013), através da Equipa de Avaliação do Risco de Inundação, colheu amostras ambientais após os incêndios rurais de *Cerro Grande* em 2000 e de *Las Conchas* em 2011, depois de analisados os contaminantes e os dados, foi realizada uma avaliação de risco para determinar os impactos na saúde humana. Em geral, os resultados indicaram que as cinzas dos incêndios florestais tendem a concentrar metais e contaminantes nucleares, no entanto, foi esperado que as cinzas e os contaminantes fossem arrastados das áreas afetadas dentro de dois anos. Durante o tempo imediatamente posterior a um incêndio, o melhor é limitar a exposição ao solo, sedimentos e água que contêm cinzas, embora a maioria das vias não resulte em um risco significativo para a saúde humana.

Os efeitos para a saúde do consumo de água contaminada podem variar desde o impacto físico, a doença ou mesmo a morte. Muitos fatores influenciam o impacto potencial sobre a saúde, como a idade e o estado geral de saúde do indivíduo, o tipo de contaminante, a quantidade consumida e quanto tempo a pessoa está a consumir a água contaminada. Alguns dos efeitos deste consumo podem ser imediatos, enquanto outros podem não ser notados por muitos anos. Estes efeitos na saúde podem incluir doenças gastrointestinais e de estômago, tais como náuseas, vômitos, cólicas e diarreia (Halton Region, 2017).

3.6. Modelo conceptual proposto

Os modelos conceptuais são essenciais para recolher, observar, compreender e explicar as questões e os problemas que estão relacionados com situações reais ou previstas, e para sugerir como podem estas serem geridas. Estes modelos podem ser considerados como diagramas organizacionais, que reúnem e resumem informações de uma forma padrão, lógica e hierárquica (Patrício *et al.*, 2016).

O modelo conceptual proposto, representado na Figura 13, tem como base a estrutura do modelo DPSIR¹¹ e a sua aplicação à gestão de serviços ecossistémicos. Esta estrutura foi utilizada e aplicada em alguns estudos de avaliação de serviços ecossistémicos. Carvalho-Santos *et al.* (2014) apresentou e testou este modelo para analisar os serviços hidrológicos e o papel das florestas, utilizando assim, uma combinação de princípios e métodos de eco hidrologia com conceitos e métodos dos serviços ecossistémicos, o que posteriormente, permitirá fornecer diretrizes para avaliar e monitorar a provisão de serviços hidrológicos. De acordo com o estudo de Rounsevell *et al.* (2010), o modelo conceptual representado pode fomentar a promoção de uma visão das propriedades dos sistemas socioeconómicos e das suas respostas a uma variedade de fatores e pressões e, desta maneira, ajudar na compreensão de estratégias de preservação sustentáveis.

A estrutura DPSIR foi desenvolvida pela Agência Europeia do Meio Ambiente e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) com o objetivo de analisar e descrever as interações entre a sociedade e o meio ambiente, sendo uma extensão do modelo *Pressure-State-Response* (PSR) e do modelo *Driving force-State-Response* (DSR) (Liu *et al.*, 2012; Bradley e Yee, 2015). Esta estrutura que é um quadro de pensamento sistémico que assume relações de causa e efeito entre componentes interativos de sistemas sociais, económicos e ambientais, tem sido utilizada em muitas aplicações de recursos ambientais, incluindo, no caso em estudo, a gestão de recursos hídricos, mas também pode ser utilizada para agregar num único quadro aspetos sociais, culturais e económicos do ambiente e da saúde humana (Bradley e Yee, 2015).

¹¹ DPSIR (Driving force – Pressure – State – Impact – Response).

De acordo com esta moldura, desenvolvimentos sociais e económicos (Promotores ou Forças-Motrizes¹²) influenciam o comportamento de um dado sistema socioambiental, nomeadamente a ação e os efeitos de um conjunto de fatores diretos de mudança denominados Pressões. Como sequência das Pressões e das suas variações no espaço e no tempo, as variáveis de Estado do sistema (nas dimensões ambiental e socioeconómica) são alteradas. Estas alterações podem por sua vez provocar Impactos na saúde humana e outras componentes da sociedade, suscitando uma Resposta que envolve atuação sobre os Promotores, as variáveis de Estado ou as Pressões, através de várias ações de mitigação ou adaptação (Maxim *et al.*, 2009).

O modelo DPSIR pode ser usado como uma estrutura analítica para avaliar problemas relativos aos recursos hídricos e respetiva gestão, pois permite uma avaliação mais abrangente das questões, através do estudo dos Promotores e Pressões relevantes sobre o meio ambiente, os consequentes variáveis do Estado do meio ambiente e os seus Impactos, as Respostas realizadas, e as interligações entre cada um destes elementos (Kristensen, 2004).

¹² Doravante denominado apenas por promotores.

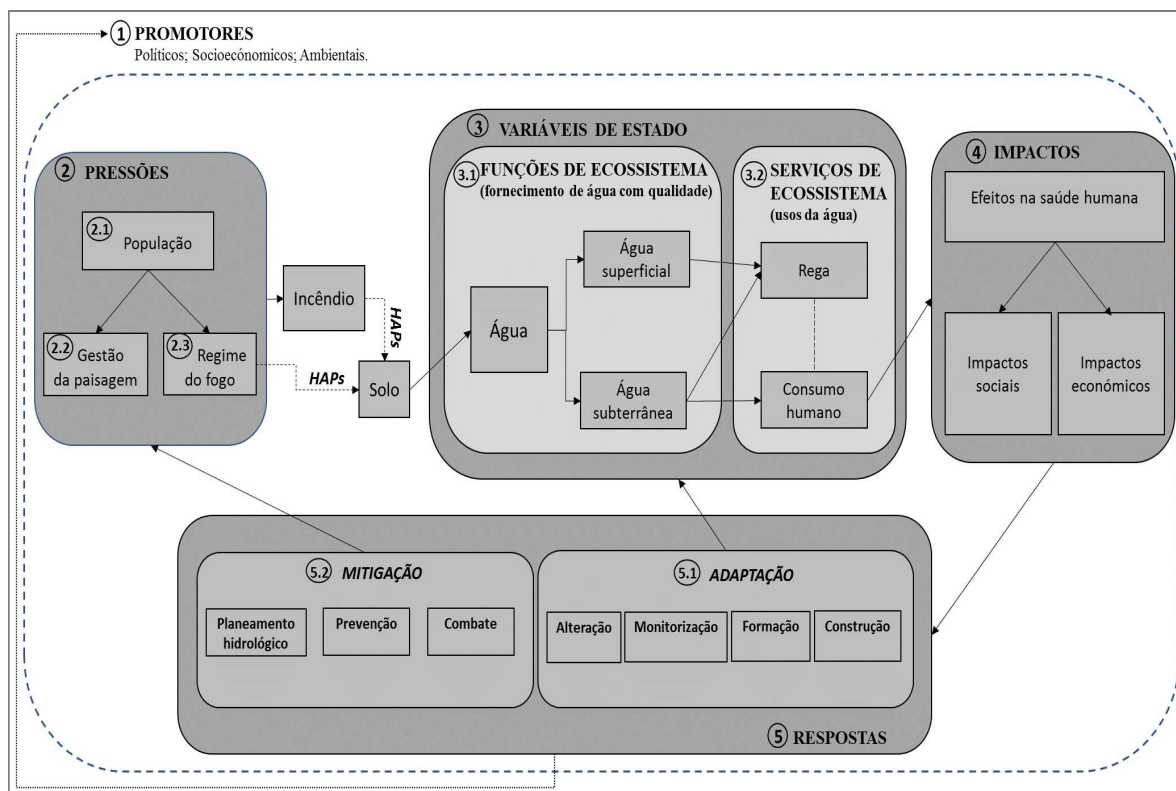


Figura 13. Modelo conceptual para a prestação de serviços ecossistémicos de regulação da qualidade da água com base na estrutura de DPSIR (Promotor, Pressão, Estado, Impacto, Resposta) (elaboração própria com base nos modelos de Rounsevell *et al.* (2010) e de Carvalho-Santos *et al.* (2014)).

Na aplicação da moldura DPSIR à análise da relação entre incêndios, qualidade da água e bem-estar humano (Figura 13), os *Promotores* são as forças socioeconômicas e socioculturais que impulsionam as atividades humanas, incluindo as causas subjacentes das mudanças ambientais que são exógenas ao sistema ou região em questão, como as alterações climáticas e socioeconômicas ou o contexto político nacional e internacional, que aumentam ou atenuam as pressões sobre o sistema. As *Pressões* são as ações ou atividades humanas (usos do solo, incêndios, entre outros) que influenciam diretamente o estado do sistema, correspondendo assim a variáveis endógenas que medeiam o efeito dos promotores no sistema ou região. De acordo com Kristensen (2004) o estado da água é determinado por fatores naturais, como a geologia e o clima, mas também pelas pressões exercidas pelas atividades humanas. A agricultura, por exemplo, é um fator significativo em termos de qualidade ecológica, poluição nutricional e orgânica, substâncias perigosas e quantidade de água.

As variáveis de *Estado* são as que caracterizam a condição do sistema num dado momento, representando a sua sensibilidade às Pressões. Os *Impactos* traduzem os efeitos da alteração do sistema no bem-estar humano, indicando se as mudanças nas variáveis de Estado têm um efeito negativo ou positivo sobre os indivíduos, a sociedade e/ou os recursos ambientais. Finalmente, as *Respostas* referem-se às ações desencadeadas pelos indivíduos e pela sociedade que atuam sobre as Pressões, nomeadamente os incêndios (Mitigação) ou diretamente sobre as variáveis de Estado (Adaptação) (Rounsevell *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2012).

No capítulo 4, o modelo conceptual aqui proposto será aplicado na análise de grandes incêndios, usando como exemplo o conjunto de incêndios ocorrido na Serra do Caramulo em 2013.

Capítulo 4. Caso de estudo: incêndios e qualidade da água na Serra do Caramulo

4.1. Caraterização geral do sistema

Apresentam-se, neste subcapítulo, as caraterísticas físicas da região em estudo, bem como caraterísticas socioeconómicas e demográficas das localidades afetadas pelo incêndio de 2013 e que foram abrangidas pelo estudo de Duarte (2015). Tratar-se-á, ainda, dos recursos hídricos e os seus usos, referindo sempre relevantes estudos elaborados anteriormente.

4.1.1. Enquadramento geográfico e administrativo

Situada entre as coordenadas aproximadas 40° 24' – 40° 43' N de latitude e 8° 03' – 8° 22' W de longitude, a Serra do Caramulo localiza-se na zona Centro de Portugal, predominantemente nos concelhos de Tondela, Vouzela e Oliveira de Frades (distrito de Viseu, antiga província administrativa da Beira Alta), pertencendo uma pequena parte aos concelhos de Mortágua (também distrito de Viseu) e de Águeda (distrito de Aveiro, antiga província administrativa da Beira Litoral) (Ribeiro, 2006).

A Serra separa a Beira Litoral da Beira Alta e as bacias hidrográficas do Rio Vouga e do Rio Mondego, sendo limitada a norte pela sub-região de Lafões e a Oriente pela sub-região de Besteiros, pertencendo esta à bacia do Mondego. Esta região abrange uma parte do Concelho de Vouzela (Freguesia de Ventosa, Cambra, Carvalhal de Vermilhas, Alcoba e Fornelo do Monte), concelho de Oliveira de Frades (Varzielas e Destriz), Tondela (Guardão, Mosteirinho, São João do Monte, Silvares) e ainda uma parte dos concelhos de Águeda e Mortágua (Ferreira, 2008).

A Serra do Caramulo (Figura 14) está orientada segundo a direção NE-SW, apresenta uma altitude de 1074 m no seu ponto mais elevado, o Caramulinho (Figura 15), e possui uma extensão de 40 km e uma largura de 20 km (Ribeiro, 2006).



Figura 14. Localização da Serra do Caramulo no mapa topográfico representada pelo quadrado preto (SNIG¹³, 2017).



Figura 15. Serra do Caramulo vista do cume do Caramulinho (fonte própria, maio 2017).

¹³ Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG).

4.1.2. Clima, geologia e geomorfologia

A temperatura diminui com o aumento da altitude e a amplitude da variação anual da temperatura aumenta com a distância ao mar, o seu grande regularizador. A insolação situa-se entre 2300-2600 horas/ano, a que corresponde uma moderada a elevada disponibilidade (Ferreira, 2008). As temperaturas médias anuais oscilam entre 10°C e 12,5°C, nos meses de inverno as médias das temperaturas mínimas oscilam entre 2,5°C e 5°C e nos meses de verão as médias das temperaturas máximas oscilam entre 22,5°C e 27,5°C (Silva *et al.*, 2010).

A distribuição regional do clima apresenta uma variação acentuada do litoral para o interior, resultante da diminuição progressiva da intensidade e frequência de penetração das massas de ar atlânticas, que não é facilitada pela Serra do Caramulo, e que vai originar uma modificação dessas massas na sua deslocação sobre o continente (Ferreira, 2008). A precipitação distribui-se de forma irregular na Serra do Caramulo. Vai aumentando das terras baixas do litoral até às terras altas. A precipitação média anual oscila entre os 2000 mm nas zonas de maior altitude e 1200 mm nas zonas de baixa altitude (Câmara Municipal de Vouzela, 2014).

A serra do Caramulo caracteriza-se por ser uma região bastante acidentada, de relevo forte e vigoroso, apresentando variações notáveis na sua morfologia condicionadas, em grande parte, pela natureza geológica do terreno (Martins, 1962). As rochas existentes na serra são maioritariamente xistos e granitos de diferentes tipos, e apesar da maior parte da região ser constituída por rochas graníticas, em determinados locais surgem pequenos retalhos xistosos na mancha granítica, que pela sua dureza escaparam à erosão (Pereira, 1988). É possível observar através da Figura 16 o mapa geológico da área de estudo, bem como as localidades abrangidas e os pontos de água.

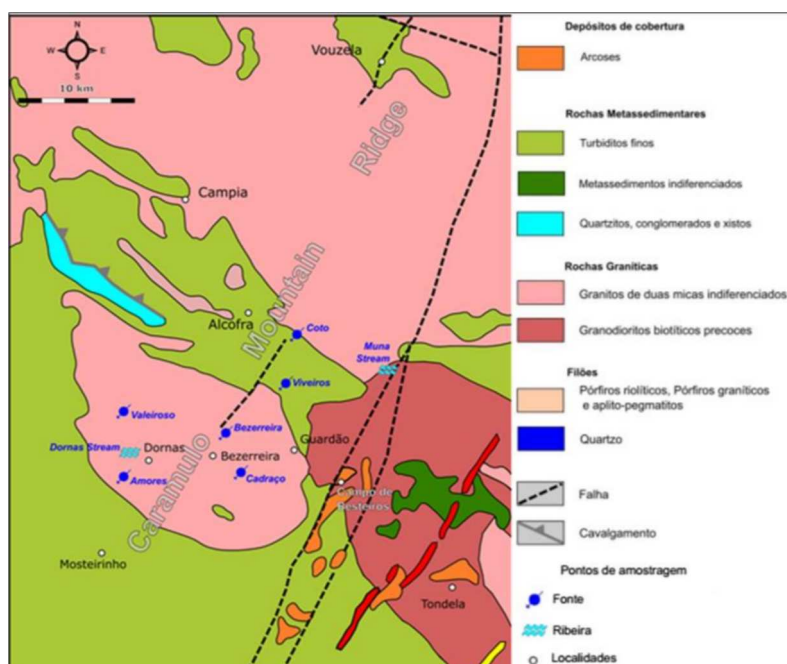


Figura 16. Mapa geológico da área de estudo e localização de pontos de água (Duarte, 2015).

4.1.3. População e atividades económicas

Na Figura 17 e na Tabela 4 são apresentadas as localidades abrangidas pela Serra do Caramulo e que, tendo sido afetadas pelos incêndios¹⁴ em 2013, constituem o foco do presente estudo.

¹⁴ Entre 21 e 30 de agosto de 2013 ocorreram na região do Caramulo vários incêndios aos quais se deu a designação de "Incêndios do Caramulo". Estes incêndios tiveram três ocorrências principais, às quais foram agregadas outras ocorrências de menor extensão: (1) incêndio de Alcofra; (2) incêndio de Silvares; (3) incêndio de Guardão (Viegas *et al.*, 2013).

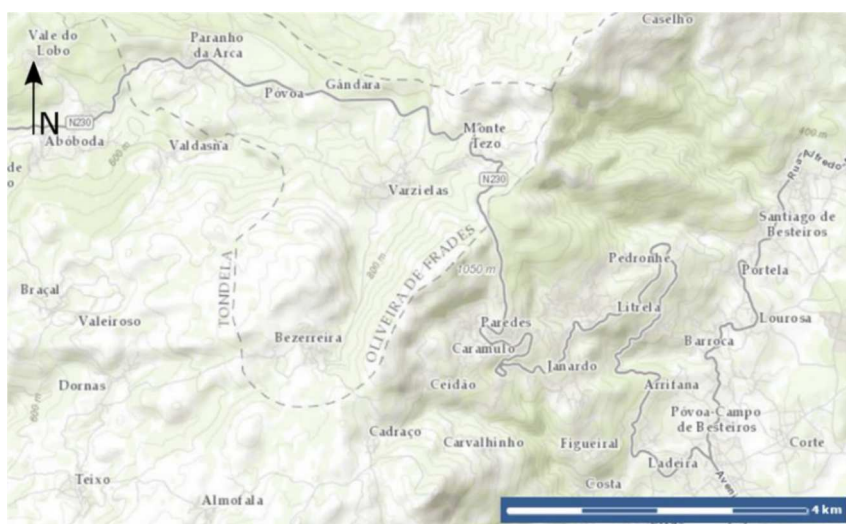


Figura 17. Mapa topográfico da área do estudo (SNIG, 2017).

Tabela 4. Localidades abrangidas pelos estudos de Duarte (2015) e Mansilha *et al.* (2017).

Localidade	Freguesia	Concelho
Caselho	Guardão	Tondela
Guardão de Cima	Guardão	Tondela
Bezerreira	Varzielas	Oliveira de Frades
Cadraço	Guardão	Tondela
Teixo	São João do Monte	Tondela
Valeiroso	São João do Monte	Tondela
Muna	Santiago de Besteiros	Tondela
Dornas	São João do Monte	Tondela

A Tabela 5 apresenta os dados mais relevantes relacionados com a população residente das freguesias em estudo, por grupos etários.

Tabela 5. População residente por freguesia (elaboração própria com base em dados de INE, 2017 e Sales Index 2017¹⁵).

Zona Geográfica	População residente											
	Em 2001						Em 2011					
	Total		Grupos etários				Total		Grupos etários			
	M	H	0-14	15-24	25-64	65 ou +	M	H	0-14	15-24	25-64	65 ou +
Guardão	964	870	216	243	876	499	784	706	139	142	722	487
Santiago de Besteiros	754	719	242	212	734	285	674	657	179	150	673	329
U.F. São João do Monte e Mosteirinho	664	655	177	165	662	315	542	537	89	117	562	311
U.F. Arca e Varzielas	427	394	119	105	406	191	367	351	91	62	350	215

Os dados referentes aos últimos Censos indicam que a freguesia com mais população residente é a Freguesia de Guardão com 1490 habitantes, seguindo-se Santiago de Besteiros com 1331 habitantes, U.F. São João do Monte e Mosteirinho com 1079 habitantes e, por último, a U.F. Arca e Varzielas com 718 habitantes.

Ao analisar o total da população de acordo com os géneros, verifica-se que existem mais mulheres (2367) do que homens (2251), ou seja, registam-se mais 116 mulheres que homens. A variação de géneros entre as freguesias não é similar, no entanto a pluralidade das freguesias possui uma maior população feminina.

Na mesma tabela, é de salientar, ainda, que os grupos etários dos 25 aos 64 e do 65 ou mais anos apresentam os valores mais elevados nas quatro freguesias. É possível ainda confirmar que, no geral, as freguesias são marcadas por um claro envelhecimento da população e decréscimo da natalidade, quando comparados os grupos etários dos 0-14 anos e o das faixas etárias mais elevadas.

Deste modo, conclui-se que existem mais pessoas no grupo etário dos 25 aos 64 e dos 65 ou mais anos de idade, o que indica a existência de um problema que tende a agravar-se com o tempo: o envelhecimento populacional. As freguesias são deparadas com um

¹⁵ Programa de base de dados disponibilizado pela Faculdade de Economia da Universidade do Porto.

envelhecimento demográfico um pouco acelerado, caracterizado pela diminuição dos nascimentos e jovens e pelo crescente aumento de idosos o que vai acarretar problemas de natureza social e económica.

É de destacar, ainda, que a variação da população e dos grupos etários é negativa (ver anexo II), ou seja, no período de tempo de 2001 a 2011 ocorreu uma diminuição do número de habitantes, embora o grupo etário dos indivíduos com 65 ou mais anos tenha apresentado um crescimento nas freguesias de Besteiros e na U.F. Arca e Varzielas.

A densidade populacional é definida pela intensidade do povoamento expressa pela relação entre o número de habitantes e a superfície do território. Na Tabela 6 é apresentada a densidade populacional das freguesias.

Tabela 6. Dados das freguesias em estudo (elaboração própria com base em dados de *Sales Index* 2017).

Freguesias	População em 2011	Área (km ²)	Densidade populacional (hab./km ²)
Guardão	1 490	18,77	79,4
Santiago de Besteiros	1 331	20	66,6
U.F. São João do Monte e Mosteirinho	1 079	66,60	16,2
U.F. Arca e Varzielas	718	20,29	35,4

É possível verificar que as freguesias que apresentam maior densidade populacional não são as freguesias com maior área, ou seja, a população de uma determinada região não se distribui pela superfície de forma homogénea, mas sim tende a concentrar-se em regiões que apresentem características mais atrativas à sua instalação. Deste modo, não sendo a distribuição da população homogénea, Santiago de Besteiros apresenta-se como a freguesia com maior densidade populacional com 91,8 hab./km², seguida por Guardão com 35,4 hab./km². É de destacar que as freguesias com maior densidade populacional são aquelas que se situam nos aglomerados urbanos principais, com melhores acessibilidades e boa localização. As freguesias mais rurais como a U.F. São João do Monte e Mosteirinho apresentam um decréscimo mais acentuado da população.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística, a população ativa corresponde ao conjunto de indivíduos com idade mínima de 15 anos que, no período de referência, constituíam a mão-de-obra disponível para a produção de bens e serviços que entram no circuito económico (empregados e desempregados). Através da Tabela 7 é possível observar os dados relacionados com a população economicamente ativa por setor nas diferentes freguesias em estudo.

Tabela 7. População das freguesias empregada por setor (elaboração própria com base em dados de INE, 2017).

Zona Geográfica	População economicamente ativa							
	Total		Empregada					
			Total	Setor primário	Setor secundário	Setor terciário		
	HM	H	HM			Total	De natureza social	Relacionados com a actividade económica
Guardão	597	303	552	68	147	337	157	180
Santiago de Besteiros	544	301	488	54	194	240	84	156
U.F. São João do Monte e Mosteirinho	479	287	431	98	196	137	62	75
U.F. Arca e Varzielas	294	159	262	45	137	80	40	40

Da análise dos dados apresentados, é observável que a população economicamente ativa do conjunto das freguesias é de 1 914 habitantes, sendo apenas constituída por uma ligeira maioria do sexo masculino, e que a economicamente ativa empregada das mesmas regiões corresponde a 1 733 habitantes.

A economia local é descrita pelo setor de atividade, isto é, pelo conjunto de atividades que geram bens ou prestam serviços para e pela população. Nesta região, segundo o critério de Lote (2016) dominam três grandes setores: o setor primário, que abrange as atividades de extração de recursos diretamente da natureza sem qualquer transformação, tais como a agricultura, a silvicultura, a pecuária ou a caça; o setor secundário, que inclui as atividades que transformam matéria-prima em produtos acabados ou semiacabados, englobam atividades industriais transformadoras, como a construção; e o setor terciário, que

abrange o comércio e os serviços, e inclui atividades que não produzem bens mas prestam serviços, como o turismo, o comércio, os transportes e as atividades financeiras.

Como foi referido nos capítulos anteriores, os territórios da Serra do Caramulo caracterizavam-se por uma forte componente ligada ao setor primário, isto é, uma agricultura de subsistência, com grande dispersão de parcelas, onde eram cultivados cereais e era praticada pecuária extensiva. A tendência para o abandono das atividades do setor primário em favor de outras atividades, provocou um aumento significativo dos setores secundário e terciário.

De acordo com os dados acima presentes, é possível apurar que o setor terciário é o que emprega a maioria dos ativos empregados nas freguesias de Guardão e de Santiago de Besteiros, seguindo-se o setor secundário, predominante na U.F. São João do Monte e Mosteirinho e na U.F. Arca e Varzielas, e por último o setor primário, com poucos ativos empregados das quatro freguesias.

Relativamente aos lugares abrangidos pelo estudo, foram apurados dados relacionados com o número de indivíduos, residentes e presentes, número de alojamento e alojamento de residência habitual, grupos etários, nível de escolaridade completa e atividade económica. Na Tabela 8 estão representados os dados referentes aos indivíduos residentes e presentes, bem como o número de alojamento.

Tabela 8. Dados dos indivíduos residentes e presentes nos lugares (elaboração própria com base em dados de INE, 2017).

Lugares	Nº indivíduos residentes		Nº indivíduos presentes		Nº alojamento	Nº aloj. residência habitual
	Total	H	Total	H		
Cadraço	22	12	22	12	16	8
Caselho	106	52	97	44	71	39
Guardão de Cima	66	30	66	30	39	24
Muna	419	201	396	189	237	143
Dornas	74	37	62	30	45	27
Teixo	85	44	78	40	46	29
Valeiroso	23	9	22	8	12	7
Bezerreira	88	44	87	43	50	30

Através dos dados, é possível apurar que o lugar com maior número de indivíduos residentes é Muna (419) e Caselho (106), correspondendo os dois primeiros àqueles que têm maior número de alojamentos. Os lugares com menor número de indivíduos residentes são nomeadamente Cadraço (22) e Valeiro (23). É de referir que no geral dos lugares, o sexo feminino é ligeiramente predominante.

É de referir que, nos lugares de maior altitude, nomeadamente, Cadraço, Dornas, Teixo, Valeiroso e Bezerreira, as habitações são abastecidas, regra geral, por captações de água subterrânea. As freguesias com maior número de alojamentos são a Muna e o Caselho, dado expectável tendo em conta o maior volume da população, relativamente aos restantes lugares.

Através da Figura 18 é possível aferir a percentagem dos indivíduos residentes nos lugares por grupos etários.

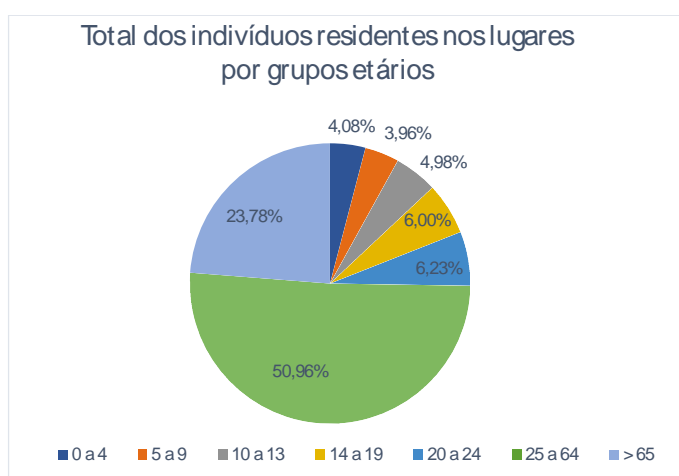


Figura 18. Percentagem dos indivíduos residentes nos lugares por grupos etários (elaboração própria com base em dados de INE, 2017).

É evidente a prevalência do grupo com idades compreendidas entre os 25 e os 64 anos de idade, com 450 dos indivíduos do total de lugares.

Dados apontam ainda para uma percentagem de 50,96% da população total entre a faixa acima mencionada. É de ressaltar que quase um quarto da população é envelhecida, devido ao facto do grupo etário dos 65 ou mais anos representar 23,84%, o que perfaz um total de 210 indivíduos. É possível ainda, confirmar que o lugar de Muna e Caselho são marcados por um claro envelhecimento da população.

Apesar da percentagem de jovens (grupos etários dos 14-19 e dos 20-24) ser mais elevada em Dornas (16,2%), o maior número de jovens encontra-se no lugar de Muna (com 58 indivíduos) (ver anexo III).

É também notória a diferença da população envelhecida em relação à mais jovem, pois desde os nascimentos até aos 19 anos existe uma percentagem de 19,02% de indivíduos entre essas faixas etárias.

Conclui-se que a existência de população mais envelhecida coincide com as áreas mais afastadas da sede do concelho, apresentando-se tendencialmente como mais jovens as que correspondem às áreas urbanizadas e/ou com melhores acessibilidades. O lugares são deparados com um envelhecimento demográfico caracterizado pela diminuição dos nascimentos e jovens e pelo crescente aumento de idosos, o que levará a problemas de várias naturezas: de natureza social e económica.

A distribuição dos indivíduos residentes nos lugares pelos níveis de escolaridade completa encontra-se apresentada na Figura 19

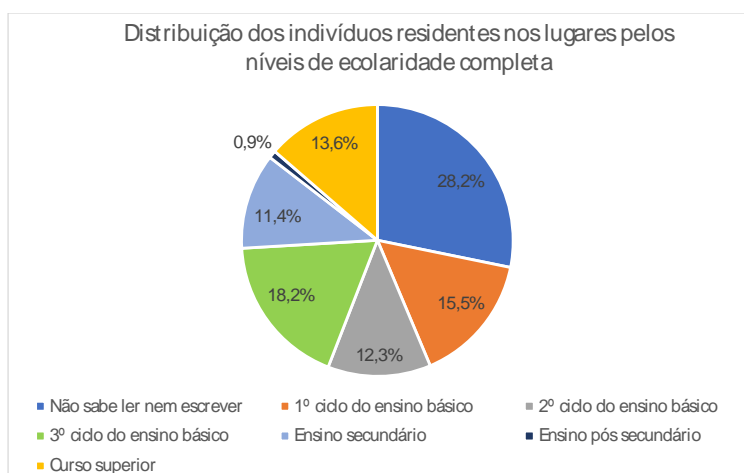


Figura 19. Distribuição da população residente pelos níveis de escolaridade (elaboração própria com base em dados do INE, 2017).

Em 2011, $\frac{1}{4}$ da população residente do total dos lugares não sabe ler nem escrever (28,2%), em relação ao ensino completo e não tendo em conta os indivíduos que estão a frequentar qualquer nível de ensino, 18,2% completou o 3º ciclo do ensino básico, 15,5% completou 1º ciclo do ensino básico. É ainda observável que 13,6% completou o curso superior, 12,3% o 2º ciclo do ensino básico e 11,4% o ensino secundário.

Na Tabela 9 são apresentados dados referentes ao número de residentes empregados pelos três setores económicos nos lugares em estudo.

Tabela 9. Número de residentes empregados por setores económico (elaboração própria com base em dados de INE, 2017).

Lugares \ Setores	Nº Indivíduos residentes empregados			
	Setor primário	Setor secundário	Setor terciário	TOTAL
Cadração	2	1	4	7
Caselho	4	29	12	45
Guardão de Cima	2	5	24	31
Muna	13	54	91	158
Dornas	5	17	6	28
Teixo	6	18	16	40
Valeiroso	4	4	1	9
Bezerreira	7	18	8	33
TOTAL	43	146	162	351

Em relação à população empregada (nº de indivíduos residentes) por ramos de atividade económica verificamos que, e em concordância com os dados abrangidos pelas freguesias na tabela 7, o setor que detém maior número de trabalhadores é o setor terciário, seguindo-se o setor secundário e finalmente o setor primário. O que uma vez mais corrobora a tese de que o abandono do setor primário é uma realidade. No entanto, sendo o setor terciário o que assume um papel de grande relevância no desenvolvimento económico e social, é possível afirmar que este é um ponto positivo para os lugares em estudo.

No geral, é possível retirar algumas conclusões relevantes deste capítulo, salientando que se verificam tendências distintas a nível da distribuição da população:

- ☐^{Fig. 26} tendência acentuada para a concentração da população nas freguesias mais urbanas, como é o caso de Guardão e Santiago de Besteiros;
- ☐^{Fig. 26} decréscimo acentuado da população nas freguesias mais periféricas e, por isso, mais rurais, como é o caso da U.F. Arca e Varzielas;
- ☐^{Fig. 26} no global das freguesias, estas são caracterizadas por um sistema de povoamento de reduzida urbanização (lugares rurais) e de grande dispersão. Todas as freguesias possuem menos de 2000 habitantes, o que lhe concede características de grande ruralidade.

4.1.4. Vegetação, paisagem e recursos hídricos

Nas últimas décadas, a Serra do Caramulo, em especial a vertente ocidental, sofreu mudanças drásticas ao nível do uso do solo. O despovoamento humano gradual dessa zona, estreitamente ligado ao aumento da recorrência dos incêndios rurais, levou as populações a optar por espécies florestais com retorno sobre investimento mais rápido. Atualmente a floresta da vertente ocidental da Serra do Caramulo é uma extensa monocultura de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), com pequenas áreas de pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*), e o estrato arbustivo existente é composto maioritariamente por carqueja (*Pterospartum tridentatum*), várias espécies de urzes (*Erica* spp.) e tojos (*Ulex* spp. e *Genista triacanthos*) (Boulet, 2011).

Em relação à agricultura, esta desenvolve-se basicamente em duas zonas: junto aos aglomerados populacionais e nas zonas de menor altitude. A ocupação agrícola dominante são os prados anuais, culturas forrageiras e milho. Mais próximo das localidades, surgem parcelas dedicadas à horticultura para consumo próprio. Com a altitude aumentam os prados e pastagens permanentes, assim como as matas (Câmara Municipal de Vouzela, 2014).

As atividades humanas tais como a agricultura, a indústria, os serviços, a navegação e a pesca, estão sujeitas à disponibilidade de uma determinada quantidade e qualidade de água para o seu funcionamento, pelo que dependem dos recursos hídricos. Posto isto, os recursos hídricos são fundamentais à manutenção da vida e ao desenvolvimento das sociedades contemporâneas. No aproveitamento de recursos hídricos podem-se distinguir como origens de água: origens superficiais (rios, lagos, etc.), origens subterrâneas (aquíferos), reutilização de águas residuais e dessalinização de água salgada (Gil, 2011).

O uso humano de água doce é muitas vezes dividido em três categorias: doméstico, agrícola e industrial. A quantidade de água doce consumida por cada uma dessas atividades não é uniforme em todas as partes do Mundo, mas a agricultura corresponde a geralmente 70% do uso global de água doce, a indústria 20% e o uso doméstico apenas 10%. As diferenças regionais no consumo de água são influenciadas pela densidade populacional, pelo nível de desenvolvimento e por fatores geográficos, como é o caso dos tipos de recursos hídricos disponíveis (UNESCO, 2012).

Os cursos de água da vertente SE do Caramulo são de pequena importância, e constituem uma das ramificações superiores da rede do rio Mondego. A rede hidrográfica é constituída por abundantes ribeiras e ravinas que formam uma intrincada rede ao longo da vertente da serra e se precipitam em direção à bacia de Mortágua, convergindo nos rios Criz e Dão. Do lado noroeste do Caramulo, o rio Vouga e os afluentes do Alfusqueiro, Alcofra e Águeda constituem os cursos de água mais desenvolvidos. Correm de leste para oeste em vales ondulantes muito encaixados em direção ao mar. O rio Alfusqueiro, para montante da confluência com o Alcofra, corre de nordeste para sudoeste (Martins, 1962; Pereira, 1988).

Uma vez que no território da Serra do Caramulo ocorrem, essencialmente, rochas metassedimentares e rochas ígneas, os aquíferos são, predominantemente, fissurados (Mansilha *et al.*, 2017). Sendo o foco deste trabalho os impactos dos incêndios rurais sobre os recursos hídricos, no que respeita, nomeadamente, à qualidade da água, existem também, como já antes mencionado, diversos estudos, em Portugal, que abordam este tema.

É de referir o estudo de Mansilha *et al.* (2014), que avaliou os efeitos dos incêndios rurais nas águas subterrâneas de duas regiões montanhosas localizadas em áreas protegidas do norte e centro de Portugal (Serra da Estrela e Serra do Gerês). Após realizadas as colheitas de água em zonas de área ardida e medidos os níveis de HAPs, os resultados demonstraram que os incêndios contribuíram para a contaminação das águas subterrâneas por HAPs.

Duarte (2015) e Mansilha *et al.* (2017) avaliaram o efeito dos fogos rurais sobre a presença de HAPs na água subterrânea na Serra do Caramulo, onde foram encontradas concentrações de HAPs que podem, potencialmente, causar danos aos seres vivos, incluindo aos seres humanos.

A Tabela 10 apresenta os pontos de água de maior importância para o presente estudo (ver Figura 16), tendo em conta a rede de monitorização de Duarte (2015) e Mansilha *et al.* (2017).

Tabela 10. Pontos de água dos estudos realizados na Serra do Caramulo, de acordo com o tipo, utilização e localidade referente a Duarte (2015) e Mansilha *et al.* (2017).

Ponto de água	Tipo	Utilização	Localidade abastecida
Coto	Nascente	Consumo humano	Caselho
Viveiros	Nascente	Consumo humano	Guardão de Cima
Bezerreira	Nascente	Consumo humano	Bezerreira
Cadração	Nascente	Consumo humano	Cadração
Amores	Nascente	Consumo humano	Teixo
Valeiroso	Nascente	Consumo humano	Valeiroso
Muna	Ribeira	Rega	Muna
Dornas	Ribeira	Rega	Dornas

4.1.5. Regime do fogo

O conceito de “regime do fogo” designa os padrões sob os quais os fogos ocorrem numa dada área. O conhecimento do regime do fogo tem importância à escala regional e para um horizonte temporal de décadas, e reflete as condições estruturais, o clima, a topografia, a vegetação e o uso do solo, os quais influenciam diretamente o estado dos combustíveis (Mateus, 2015). A gestão humana tem influenciado fortemente o regime do fogo, quer pela forma como propicia as ignições, quer pela forma como as previne e extingue (Viegas *et al.*, 2013).

O regime de fogo é uma forma útil de caraterizar as regiões, para efeitos de investigação e de gestão, pois refletem o ambiente de fogo e influenciam o tipo e a abundância de combustível, afetando assim o comportamento do fogo e os seus efeitos ao longo do tempo. Os regimes de fogo podem ser descritos de acordo com o seguinte conjunto de atributos: frequência, magnitude (gravidade e intensidade) e sazonalidade (Morgan *et al.*, 2001).

Em relação à frequência de incêndios, e de acordo com Viegas *et al.* (2013), a maioria das áreas ardidas nos incêndios do Caramulo desde há vários anos que não eram fustigadas por incêndios (só no ano de 2000 é que se registou uma pequena área ardida). A ausência de fogos permitiu a acumulação de muito combustível, o que, na falta de uma gestão cuidada, facilitou a propagação do fogo e favoreceu a ocorrência do incêndio de agosto de 2013.

A intensidade e a severidade do fogo descrevem o comportamento e os efeitos dos incêndios individuais. A intensidade do fogo é uma descrição física do comportamento do fogo, e é definida pela quantidade de energia libertada por uma frente de fogo. A severidade é caracterizada pelo impacto do fogo no ecossistema, grau de mortalidade, profundidade da combustão, consumo de combustível, etc. (Morgan *et al.*, 2001). De acordo com dados do ICNF (2014b) foi possível apurar que, para além da extensa área ardida e da destruição de vários bens materiais, os incêndios do Caramulo ficaram marcados pela existência de 9 vítimas mortais (8 bombeiros e 1 autarca) e de 669 feridos.

No que toca à sazonalidade, a altura do ano em que ocorre o fogo é relevante, pela sua relação com o teor de humidade dos combustíveis, a fenologia da vegetação e os efeitos resultantes. A vegetação de um dado ecossistema onde o fogo é frequente, estará adaptada à época de ocorrência do fogo de origem natural. A atividade humana pode perturbar esta relação (Pereira, 2015). De acordo com Mateus (2015), em relação à dimensão temporal dos incêndios, estes ocorrem essencialmente de junho a setembro, mas dependendo dos padrões de seca não são desprezíveis os incêndios dos meses de outono-inverno, sempre que as queimas tradicionais da pastorícia são uma componente do uso do território. Esse padrão sazonal, de secura da vegetação predominante, de produtividade vegetativa relativamente alta, e de predominância de arbustos no complexo combustível seja como matagal ou no sub-bosque, conduz a que a severidade do fogo seja geralmente elevada.

De acordo com Viegas *et al.* (2013) um dos vários fatores que contribuam para que os incêndios do Caramulo tivessem atingido a grande dimensão que se verificou foram os fatores meteorológicos, com temperaturas altas, humidades relativas baixas e ventos muito fortes e irregulares. O mesmo autor referiu que as características da topografia que mais influenciaram o comportamento do fogo foram a exposição e o declive. A exposição relacionada com a orientação das encostas relativamente à posição do sol, determina a quantidade de radiação solar recebida pelos combustíveis florestais à superfície e, consequentemente, influencia significativamente o seu teor de humidade.

4.2. Os incêndios de agosto de 2013

De acordo com ICNF (2014b), em 2013, o distrito de Viseu foi o que registou maior área ardida de espaços florestais: 42 009 ha. Cerca de 23% desta área ardida resultou da sequência de três¹⁶ grandes incêndios (Figura 20), aos quais foram agregados outras ocorrências de menor extensão: (incêndio de Silvares, incêndio de Alcofra e incêndio de Guardão) que afetaram a Serra do Caramulo entre 20 de agosto e 2 de setembro, e que consumiram no total 9709 hectares de espaços florestais (7707 ha de povoamentos e 2002 ha de matos). É de referir ainda que, ao estimar a superfície ardida segundo a ocupação florestal, o pinhal-bravo e o eucaliptal¹⁷ representaram respetivamente 41,5% e 40,1% do total da área de povoamentos florestais ardidos.

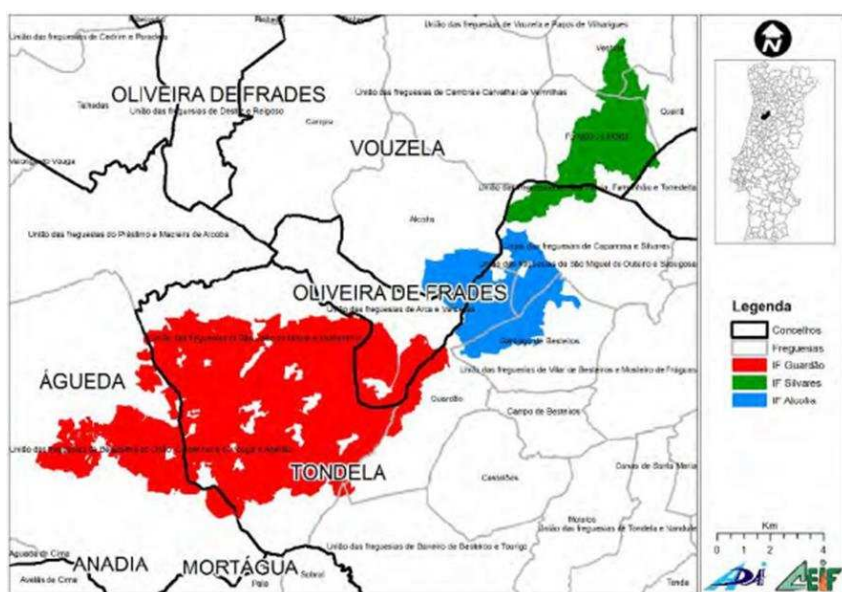


Figura 20. Distribuição da área ardida por freguesia dos três grandes fogos florestais ocorridos na Serra do Caramulo em 2013 (Viegas *et al.*, 2013).

¹⁶ Estas três áreas definidas são resultado de várias ocorrências num mesmo território.

¹⁷ Desde 2001 o pinhal-bravo e o eucaliptal são as duas ocupações mais afetadas anualmente pelos incêndios (ICNF, 2014b).

Os Incêndios do Caramulo atingiram cinco concelhos de dois distritos, nomeadamente os concelhos de Viseu, Tondela, Vouzela e Oliveira de Frades, no Distrito de Viseu, e o concelho de Águeda, no Distrito de Aveiro. A área ardida e a sua percentagem em cada um dos concelhos é apresentada na Tabela 11.

Tabela 11. Distribuição por concelho da área ardida na Serra do Caramulo em 2013 (ICNF, 2013a).

Concelho	Área Total (ha)	Área ardida (ha)	%
Águeda	33 530	1 269,84	3,79
Oliveira de Frades	14 530	613,29	4,22
Tondela	37 120	6 123,13	16,50
Vouzela	19 370	1 394,59	7,20
Viseu	50 710	14,64	0,03

Com base na tabela anterior é possível afirmar que o concelho de Tondela foi o mais afetado, com uma área ardida de 6 123,13 ha.

No incêndio que teve início na freguesia de Alcofra, e no incêndio em Guardão, são apenas referenciados os concelhos das freguesias em estudo, nomeadamente os concelhos de Tondela e Oliveira de Frades. A distribuição da área ardida pelos concelhos e freguesias está ilustrada na Tabela 12 e na Tabela 13.

Tabela 12. Distribuição das superfícies ardidas por concelho e freguesia, incêndio de Alcofra (ICNF, 2013a).

Concelho	Freguesia	Área Total (ha)	Área ardida (ha)	%
Oliveira de Frades	Varzielas	1 119,58	60,66	5,42
Tondela	Santiago de Besteiros	1 575,46	408,38	25,92
	Guardão	1 895,15	393,8	20,78

Tabela 13. Distribuição das superfícies ardidas por concelho e freguesia, incêndio de Guardão (ICNF, 2013a).

Concelho	Freguesia	Área Total (ha)	Área ardida (ha)	%
Oliveira de Frades	Varzielas	1 119,58	550,26	49,15
Tondela	Guardão	1 895,15	204,42	10,79
	S. João do Monte	4 764,5	3 428,01	71,95

Dados do ICNF (2013a) indicam que, no incêndio de Alcofra verificou-se que 96% da área ardida estava ocupada por floresta e 3,7% por espaços agrícolas, enquanto que, no concelho de Tondela 92% da área ardida estava ocupada por floresta, e 5% por espaços agrícolas.

Nos incêndios do Caramulo, os povoamentos florestais mais atingidos foram o pinheiro bravo (2883 ha) e o eucaliptal (2991 ha). A Tabela 14 apresenta os principais resultados apurados pelo inquérito aos municípios sobre o impacto dos incêndios de grande dimensão¹⁸ em 2013.

Tabela 14. Dados do inquérito aos Municípios afetados pelo incêndio do Caramulo (INE, 2014).

Incêndios/ Município	Área total ardida (ha)				Estimativa dos danos (M€)				
	Povoamentos florestais	Matos	Agrícola	Total	Florestal	Agrícola	Edificado	Infraestruturas	Total
<i>Caramulo</i>	6 428	2 520	136	9 084	12 342	507	32	1 021	13 902
Águeda	1 269	0	0	1 269	939	0	0	13	952
Oliveira de Frades	191	361	15	567	384	34	16	48	482
Tondela	4 426	1 306	118	5 850	10 679	468	0	780	11 926
Vouzela *	542	853	3	1 398	340	6	16	181	542

* Informação Parcial

No incêndio do Caramulo foram apuradas perdas de 13,9 milhões de euros e os danos incidiram-se sobretudo na perda de potencial florestal (88,8% dos danos reportados para este incêndio), sendo Tondela o município mais afetado.

É de referir ainda que para além da extensa área ardida e da destruição de vários bens materiais, os incêndios do Caramulo ficaram marcados por terem originado quatro vítimas mortais e um elevado número de feridos (Viegas *et al.*, 2013).

¹⁸ Em 2013 a Comissão Interministerial declarou como incêndios de grande dimensão: Caramulo, Picões, Trancoso, Mondim de Basto e Covilhã. Os dados estão de acordo com os valores declarados pelos Municípios atingidos, no que respeita ao total dos danos diretos estimados dos cinco grandes incêndios em 2013 (INE, 2014).


4.3. Análise do incêndio de agosto 2013

Nesta secção, o modelo conceptual relativo aos efeitos dos fogos rurais sobre a qualidade da água (descrito no Capítulo 3) será aplicado ao estudo dos incêndios ocorridos na serra do Caramulo em agosto de 2013. De acordo com esta visão de análise de sistemas, baseada no modelo DPSIR, os enquadramentos político, ambiental e socioeconómico funcionam como promotores de atividades humanas que aumentam ou atenuam as pressões sobre o meio ambiente o que, como consequência, vai alterar as variáveis de estado do meio ambiente. Estas ações conduzem a impactos nos ecossistemas, na saúde humana e na economia, que podem levar a respostas sociais que remetem ao estado do sistema ou às próprias pressões, através, respetivamente, da adaptação ou de ações de mitigação, e aos promotores.

4.3.1. Promotores

As variáveis externas de mudanças políticas, socioeconómicas e ambientais podem afetar a provisão de serviços hidrológicos. Estes promotores influenciam as pressões internas (como é o caso das mudanças do uso da terra e do regime de fogo) que influenciam diretamente o estado dos ecossistemas (neste caso as funções e os serviços ecossistémicos) (Rounsevell *et al.*, 2010).

De acordo com Vale *et al.* (2014), e referindo apenas os que foram influenciadores para este caso, os fatores promotores foram os seguintes:

 *Ambientais*, a persistência de determinadas condições meteorológicas e a sua combinação com episódios extremos, nomeadamente vários dias sucessivos com temperaturas máxima e mínima elevadas, relacionados a ondas de calor e a alturas de seca, proporcionam situações muito favoráveis à ignição e à difusão de incêndios rurais. (Lourenço e Bernardino, 2013). Segundo Viegas *et al.* (2013) os incêndios do Caramulo atingiram uma grande dimensão devido a vários fatores, incluindo fatores meteorológicos como temperaturas altas, humidades relativas baixas e ventos muito fortes e irregulares.


☐ *Socioeconómicos*, como a demografia, o abandono de áreas agrícolas e a conversão de áreas agrícolas em áreas naturais. Nas últimas cinco décadas as áreas rurais em Portugal sofreram importantes mudanças demográficas e socioeconómicas, isto é, a população das áreas rurais diminuiu substancialmente durante a segunda metade do século 20, conduzindo ao abandono de terras agrícolas e à diminuição do tamanho das populações de animais e da quantidade de combustíveis florestais consumidos pelo pasto (Nunes, 2012). A paisagem foi modificada drasticamente durante a metade do século XX, também devido a fatores como: estruturas agrícolas não competitivas (com parcelas pequenas e dispersas), falta de emprego alternativo, afastamento dos centros de consumo, e sendo os proprietários de fazendas sobretudo idosos, a agricultura familiar e a pecuária deixaram de ser autossustentáveis (Nunes, 2012).


☐ *Políticos*, com particular destaque para políticas de dimensão espacial como a conservação de espaços naturais ou desenvolvimento de infraestruturas. A criação de políticas e incentivos que favorecem a expansão dos eucaliptos e da agricultura, tanto pelo crescimento rápido das espécies arbóreas exóticas, como pelos benefícios económicos associados à plantação florestal (nomeadamente, de eucaliptos), torna os terrenos suscetíveis aos incêndios (Carvalho-Santos, 2014).

4.3.2. Pressões

As principais Pressões sobre o sistema e a sua capacidade de regulação da qualidade da água no Caramulo terão sido principalmente três:

☐ *As características socioeconómicas e culturais da população* (nomeadamente, a estrutura demográfica e a baixa densidade populacional) influenciam o risco de incêndio, devido essencialmente à falta de conhecimentos técnicos sobre agricultura e silvicultura e à inexistência de métodos de prevenção e controle de incêndios, nas suas atividades agrícolas e pecuárias.

 A *gestão da paisagem*, devido à modificação drástica que tem sofrido, tornou-se um forte fator de pressão, relacionado, principalmente, com o tipo de cobertura florestal e a quantidade de combustível presente. É de referir que a terra que não é cultivada é coberta em grande parte por pastagens, arbustos e outros tipos de vegetação leves que são muito propensas ao fogo, enquanto que a área da floresta é constituída principalmente por povoamentos de pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*) e eucalipto (*Eucalyptus globulus*), classificados como altamente inflamáveis, e, em menor medida, por sobreiros (*Quercus suber*) (Nunes, 2012).

 O *regime do fogo*, tal como foi anteriormente referido, permite compreender quais os fatores que condicionam a atividade do fogo, e reflete a frequência, a magnitude (severidade e intensidade) e a sazonalidade do fogo. No caso dos incêndios do Caramulo, assinala-se o facto de as áreas afetadas já não serem alvo de incêndios há alguns anos, o que permitiu a acumulação de uma grande carga de combustível, originando incêndios de grandes dimensões e com intensidade elevada.

É fundamental referir a interação existente entre as três pressões mencionadas. Por exemplo, o envelhecimento da população tem tido como consequência o abandono das terras, alterando o uso do solo e provocando o crescimento e expansão da floresta, o que vai resultar num aumento de pressões para a ocorrência de incêndios rurais, tornando o processo de degradação florestal cada vez mais uma realidade.

O conjunto das pressões acima mencionadas vai originar mais incêndios rurais, isto é, a interação entre a população, a gestão de paisagem e o regime do fogo, vai influenciar a intensidade do incêndio, isto porque o uso do solo, as suas características e a topografia, afetam a frequência, velocidade de propagação e o tamanho das áreas ardidas de um incêndio rural.

Como foi referido no capítulo 3, um dos efeitos do fogo passa pela combustão e consequente destruição da manta morta/vegetação o que, por sua vez, vai provocar maior suscetibilidade do solo à erosão e alteração considerável do regime hidrológico. Esta alteração do regime hidrológico ocorre devido à infiltração de poluentes no solo

(nomeadamente os HAPs), originados pelo incêndio em questão, uma vez que os incêndios anteriores poderão não ter contribuído para a presença de HAPs no solo e na água. Estes componentes vão alterar posteriormente as funções e os serviços ecossistémicos.

4.3.3. Variáveis de Estado

A capacidade intrínseca de prestação de serviços existe na natureza independentemente das opções humanas, sob a forma de funções do ecossistema, e os serviços só são materializados quando as pessoas usam ou sentem os benefícios dessas funções (Fisher *et al.*, 2009). O Estado do sistema é definido como a composição, estrutura e função do meio ambiente. Os indicadores de estado tanto podem refletir o ambiente resultante sob um determinado nível de pressão, como podem ser usados como cenários de referência para estudar uma mudança específica na pressão (Weidema, 2008).

As variáveis de Estado, nomeadamente os serviços e as funções do ecossistema de regulação da qualidade da água, vão sofrer alterações provocadas pela infiltração no solo de compostos químicos originados pelo fogo (incluindo HAPs), que para além de contaminarem as águas superficiais e subterrâneas, vão, subsequente, originar efeitos negativos, como é o caso dos efeitos na saúde humana associados ao uso da água (de rega e de consumo). Como resultado de uma população humana com saúde mais débil, haverá uma série de impactos sociais e económicos.

Devido ao movimento da água, dos sedimentos e solutos que transporta, os efeitos do fogo provocam uma resposta mais rápida das bacias hidrográficas no aumento do caudal dos rios, o que pode originar cheias a jusante. Os efeitos na hidrologia são acompanhados por resultados ao nível da exportação de nutrientes e a sua magnitude vai depender de fatores locais como combustíveis, relevo e solo.

Os combustíveis influenciam a intensidade e, por sua vez, a severidade do fogo. O declive do terreno e a existência de obstáculos, naturais ou artificiais influenciam os fenómenos de transporte de substâncias e partículas pela água. O tipo de solo altera os

mecanismos descritos pois condiciona os processos hidrológicos e os processos biogeoquímicos (Moreira *et al.*, 2010).

Através da Figura 21, Figura 22 e Figura 23 para além de ser notada a degradação da paisagem após o incêndio na Serra do Caramulo, neste caso concreto, na localidade de Dornas, é possível observar as consequências da intensa precipitação que ocorreu após o incêndio, no dia 24 de dezembro de 2013, bem como a destruição da vegetação arbustiva e herbácea e da erosão do solo, que juntamente com o declive do terreno e da natureza granítica dos solos, aumentou a escorrência superficial, o que fez com que o caudal da ribeira aumentasse e provocasse inundações.



Figura 21. Ribeira das Dornas em outubro de 2009 (Google Earth, 2017).



Figura 22. Ribeira das Dornas em dezembro de 2013 (fotografia cedida por Pedro Luís S. Pereira).

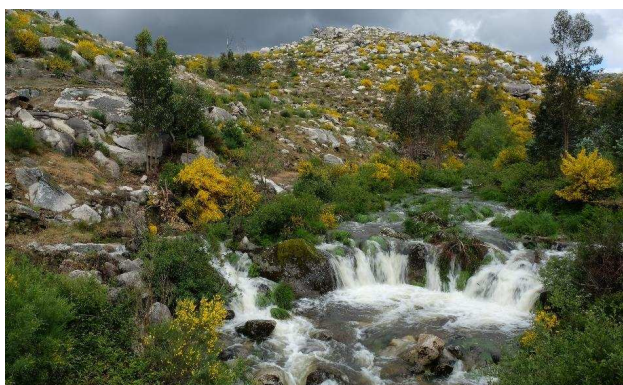


Figura 23. Ribeira das Dornas em Maio de 2017 (fonte própria).

Nos estudos de Duarte (2015) e Mansilha *et al.* (2017) sobre a qualidade da água subterrânea e superficial após o incêndio, foram feitas cinco campanhas de amostragem nos meses de setembro de 2013, janeiro, abril e junho de 2014 e março de 2015 durante as quais foram recolhidas amostras de água de oito pontos¹⁹ em áreas da Serra do Caramulo que

¹⁹ Amostras dos seguintes pontos de água: Nascente do Coto; Nascente dos Viveiros; Fonte dos Amores; Nascente de Valeiroso; Ribeira A; Ribeira B; Nascente de Cadraço; e Nascente da Bezerreira.

sofreram com os fogos rurais no verão de 2013 (ver tabela 5). Os pontos foram selecionados por apresentarem caudal durante todo o ano e por se encontrarem afastados de outras fontes poluidoras. No momento das amostragens foram medidos no local o pH, a condutividade elétrica e a temperatura da água em cada ponto e, posteriormente foi feita a análise laboratorial para determinação dos teores de HAPs bem como dos vários parâmetros hidrogeoquímicos.

Os estudos revelaram que existe uma grande variação ao longo do período de estudo das concentrações dos somatórios de HAPs, coincidente com a quantidade de precipitação ocorrida nos meses de amostragem. De acordo com os dados, concluíram que os HAPs estão a desaparecer do sistema aproximadamente um ano após o fogo rural que afetou a Serra do Caramulo. Após a análise dos dados foi então possível associar os fogos rurais à presença de HAPs em bacias hidrográficas de zonas ardidas, e que existe uma forte influência das condições climáticas na sua concentração, onde é visível valores mais elevados nos primeiros eventos de precipitação após o fogo. Muitos desses valores ultrapassaram o limite estabelecido na legislação relativa às águas para consumo humano (Mansilha *et al.*, 2017).

4.3.4. Impactos

Os Impactos podem ser definidos como consequências das alterações das variáveis de Estado em termos de efeitos ambientais e ou socioeconómicos substanciais, que podem ser positivos ou negativos (Oosterwind *et al.*, 2016).

As mudanças na qualidade e no funcionamento dos ecossistemas têm um impacto no bem-estar dos seres humanos. Este conceito de Bem-estar humano quantifica o grau de satisfação das necessidades humanas básicas de alimentação, água, saúde, segurança, cultura e abrigo, e que reflete um estado físico, mental e social positivo. O bem-estar humano inclui: i) a prosperidade económica (por exemplo, produtividade, capacidade de trabalho, rendimento); ii) a saúde e segurança (por exemplo, esperança de vida, custos médicos ou de seguro, dias de doença, dor e sofrimento); iii) bem-estar cultural e social (por exemplo,

"felicidade", senso de pertença, vitalidade comunitária, realização espiritual) (Bradley e Yee, 2015).

Devido à inexistência de estudos sobre a avaliação de riscos para a saúde humana do consumo de água contendo HAPs após os incêndios de 2013 na Serra do Caramulo, não são conhecidos os efeitos do consumo de água contaminada. No entanto, nesta secção é colocada uma questão: que indicadores de impactos potenciais do possível declínio dos serviços ecossistémicos na saúde humana, e em outras variáveis socioeconómicas, deverão ser avaliados/monitorizados?

Em relação aos efeitos sobre a saúde humana do consumo da água contaminada, estes podem variar em termos de gravidade, e são vários os fatores que influenciam o possível impacto. Como foi referido anteriormente, estas localidades são povoadas maioritariamente por idosos, os quais, por terem uma saúde mais vulnerável, podem sentir mais intensamente os efeitos da contaminação.

Nas localidades da Serra do Caramulo é habitual o consumo humano de água subterrânea captada localmente. Esta água também é utilizada em atividades domésticas (na cozinha e na lavagem de roupa, por exemplo). Deste modo, as populações podem sofrer efeitos agudos ou crónicos resultantes destes consumos de água. A natureza e a magnitude destes efeitos não foram, no entanto, estudados e quantificados.

O estudo de Reddy e Behera (2006) é útil para a compreensão dos efeitos da contaminação da água sobre a saúde de comunidades rurais na Serra do Caramulo. Embora as pessoas não bebam a água contaminada diretamente, ficam expostas a essa água, no trabalho da pecuária, em atividades como lavar a roupa, e principalmente, através da alimentação. O mesmo estudo refere que as mulheres são as mais afetadas por residência, isto porque as atividades domésticas, como limpezas, são muitas vezes realizadas com água contaminada. Esta água contaminada é atribuída à água que provém do poço (água subterrânea) da aldeia.

Além disso, com o consumo de água contaminada, os indivíduos não conseguem realizar as suas atividades diárias normais e existe uma pequena incapacidade de trabalho, o




que indica perda de rendimento e maiores despesas com cuidados de saúde, que irá ter uma influência adversa nas condições socioeconómicas das pessoas na aldeia.

A falta de saúde pode afetar o desempenho macroeconómico devido ao aumento dos gastos com a saúde, as perdas de mão-de-obra e a redução da produtividade.

4.3.5. Respostas

Em relação ao caso de estudo dos incêndios do Caramulo, sugerem-se medidas para adaptar o sistema à ocorrência regular de grandes incêndios como o de agosto de 2013 (Adaptação) e medidas para evitar a ocorrência de grandes incêndios (Mitigação).

Em relação às medidas de **Adaptação**, são sugeridas as seguintes:

-  Alteração temporária das origens da água para consumo humano e uso doméstico. A água subterrânea e superficial captada em áreas afetadas por incêndios deve, temporariamente, ser substituída por água captada em áreas não contaminadas. Esta medida pode passar pela ingestão de água engarrafada e/ou pelo abastecimento das populações através de camiões-cisterna.
-  Monitorização da qualidade da água nos pontos de água afetados pelo incêndio. Esta medida constitui uma ferramenta importante para o acompanhamento da evolução dos parâmetros de qualidade deste recurso. Também é exequível controlar algumas situações pontuais consideradas graves em termos de potenciais origens de contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. A comparação dos resultados de monitorização ao longo do tempo também contribui para o conhecimento da relação entre os fogos, os solos e os meios hídricos. Esta medida ajudará a decidir durante quanto tempo a substituição de origens de água referida no ponto 1 deverá durar.
-  Formação e sensibilização da população (agricultores, pastores, apicultores, população rural e população em geral) para a importância dos espaços florestais e da preservação dos serviços e funções do ecossistema, alertar para situações de risco,

possíveis consequências inerentes ao incorreto uso do fogo e/ou à não consideração das medidas de segurança necessárias, especialmente durante o período crítico.




- ☐ Construção de reservatórios para água, para que, em caso da contaminação as populações tenham uma alternativa temporária de abastecimento.

Foram também sugeridas, em relatórios do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, a adoção de outras medidas de adaptação após o Incêndio na Serra do Caramulo (ICNF, 2013a; ICNF, 2013b). Estas medidas têm efeito direto sobre o funcionamento hidrológico dos ecossistemas e indireto sobre a qualidade da água e, consequentemente, o bem-estar e a saúde das populações.




Numa vertente exclusivamente biofísica, a recuperação de áreas ardidas envolve, tradicionalmente e para os sistemas florestais de silvicultura não intensiva, três fases distintas: i) fase de estabilização de emergência: decorre logo após (ou ainda mesmo durante) a fase de combate ao incêndio e visa não só o controlo da erosão e a proteção da rede hidrográfica, mas também a defesa das infraestruturas e das estações e habitats mais sensíveis; ii) fase de restauro e reabilitação: nos dois anos seguintes, em que se procede à avaliação dos danos e da reação dos ecossistemas, à recolha de salvados e, eventualmente, a ações de recuperação biofísica e mesmo já à reflorestação de zonas mais sensíveis; iii) fase de longo prazo, onde são planeados e implementados os projetos definitivos de recuperação e ou de reflorestação, normalmente a partir dos três anos após a passagem do fogo.

No que toca à estabilização de emergência, foram sugeridas as seguintes medidas:

- ☐ Ações de combate à erosão e correção torrencial: Deve ser feita uma avaliação rigorosa dos impactos e dos efeitos do fogo nos ecossistemas, para averiguar as áreas em que o solo perdeu o seu coberto protetor. O tempo que ocorre após um incêndio é muito curto para que sejam tomadas medidas de prevenção, uma vez que as chuvas que se sucedem (frequentemente a partir de outubro) possuem maior potencial erosivo. Neste sentido, as áreas de intervenção centram-se nas situações onde os impactos são mais significativos, nomeadamente: na proteção e recuperação de linhas de água; na proteção de encostas e áreas suscetíveis a forte erosão laminar.

-  Ainda nas medidas de combate à erosão é de salientar as seguintes ações a serem tomadas: confirmação dos locais e sub-bacias identificados como mais suscetíveis a fenómenos erosivos e torrenciais; monitorização permanente de toda a região abrangida, para mais rapidamente possível identificar focos nascentes de erosão e adotar as necessárias medidas preventivas e corretivas (para a salvaguarda de infraestruturas (como a rede viária) e de vidas humanas).;
-  Intervenção após o incêndio em galerias ribeirinhas: As intervenções deverão centrar-se na limpeza e desobstrução das margens e leitos dos cursos de água (caso impeça o normal fluir dos caudais), para que assim haja garantia de descontinuidade horizontal e vertical dos combustíveis dos níveis arbustivo, herbáceo e o favorecimento da regeneração natural dos diferentes estratos de vegetação. A rearborização/regeneração através de plantação/sementeira artificiais deverá ser realizada quando for verificada uma destruição total ou parcialmente degradada da vegetação pré-existent.
-  Em relação às medidas fitossanitárias: Devem ser identificadas as áreas florestais mais afetadas e sensíveis, adequando medidas de prevenção e controlo de agentes bióticos nocivos, de forma a minimizar os riscos e a manter os valores ecológicos e económicos associados à floresta. A realização de ações de controlo de agentes bióticos depende de fatores como o nível de severidade do fogo e do grau de afetação da árvore. A extração da madeira queimada é uma medida relacionada com a recuperação da zona afetada, pois reduz a carga de combustível para eventuais futuros incêndios. No entanto, é necessário salvaguardar que as atividades de corte e extração da madeira não danifiquem a vegetação e o solo das zonas queimadas, agravando o efeito do fogo, devendo estas amenizar possíveis impactos ecológicos, como o caso da erosão do solo.

No que se refere às medidas de **Mitigação**, são sugeridos três grandes grupos:

-  **Planeamento hidrológico:** O conhecimento da área e do comportamento de um determinado risco facilita o planeamento e a adoção de medidas mais eficientes no combate ou prevenção do risco de incêndio, contribuindo desta forma, para uma melhor gestão do território e de proteção da área de recarga.
-  **Prevenção:** Sendo um conjunto de atividades que têm como finalidade diminuir ou anular a hipótese de se iniciar um incêndio, reduzir a sua capacidade de evolução e mitigar os efeitos indesejáveis que o incêndio pode originar, esta atua no controlo das ignições e no controlo da propagação (DFCI, 2005). Com o aumento do número de incêndios torna-se evidente a necessidade de uma maior vigilância e prevenção, com a realização de planos de ordenamento do território e na criação de legislação mais restritiva no que se refere às atividades suscetíveis de causar incêndios. Neste sentido, é necessário implementar modos eficazes de prevenção contra os incêndios rurais.
-  **Combate:** Com o crescimento anual de área ardida, maiores e severos efeitos e consequências dos fogos, especialmente em relação a vítimas dos incêndios, nomeadamente população e proteção civil, torna-se cada vez mais visível a necessidade e o dever de se investir em mais meios materiais e humanos no combate aos incêndios.

O ICNF apresenta no seu site várias medidas e ações de Ordenamento e Gestão Florestal, estas passam por sementeiras de pinheiros mansos e bravos, conhecimento das distâncias das plantações de eucaliptos e outras espécies, limpeza de matos, ajudas financeiras para a florestação e o combate de espécies invasoras.

Relativamente à legislação de Defesa da Floresta contra incêndios (DFCI), que influencia a redução das pressões, é de referir o Decreto-Lei n.º 17/2009, de 14 de janeiro, que obriga a que “proprietários, arrendatários, usufrutuários ou entidades que, a qualquer título, detenham terrenos confinantes a edificações, designadamente habitações, estaleiros, armazéns, oficinas, fábricas ou outros equipamentos, são obrigados a proceder à gestão de combustível numa faixa de 50 m à volta daquelas edificações ou instalações medida a partir da alvenaria exterior da edificação”.

Por fim, em relação às respostas políticas destinadas a modificar os Promotores, estas referem-se a políticas e instrumentos nacionais de planeamento, que advêm de fora do sistema local, mas também de contexto político e macroeconómico internacional. O objetivo destas políticas é estimular os modelos particulares de gestão florestal.

Em modo de síntese, é possível afirmar que as melhorias na prevenção de incêndios, técnicas de combate a incêndios, restauração de bacias hidrográficas após o fogo e a mitigação de risco pós-fogo são respostas adequadas à mitigação ou redução da pressão e das suas posteriores consequências. A resposta, portanto, define o nível de recuperação de um sistema hidrológico ao risco de incêndios rurais, bem como a diminuição dos efeitos originados. A carência de dados globais sobre a gestão do incêndio desencadeou a criação dos indicadores identificados no modelo, para que desta forma, seja possível uma melhor aproximação com a realidade.

É de notar ainda que os impactos ambientais ou socioeconómicos podem evocar algumas alterações na consciencialização humana, o que consequentemente pode conduzir a mudanças de interesse. No entanto, usualmente conduz a ações de resposta que apontam para a causa do impacto (pressão) e assim mitigar os impactos indesejados.

Capítulo 5. Conclusões

De forma a simplificar e melhor compreender as conclusões desta dissertação, este capítulo está estruturado do seguinte modo: em primeiro lugar, foi elaborado uma síntese mais específica das principais contribuições de cada capítulo, posteriormente, apresentada uma conclusão mais global e, por fim, é efetuada uma reflexão acerca das limitações do presente trabalho, bem como propostas de futuras linhas de investigação.

5.1. Síntese dos principais resultados

O **Capítulo 1** assinalou que as florestas fornecem importantes serviços ecossistémicos à Humanidade, tais como a proteção dos solos, regulação do ciclo hidrológico e até a regulação das condições climáticas globais, através do seu papel enquanto reservatório de carbono. Do ponto de vista económico, para além dos vários serviços que prestam, como o turismo, destaca-se a importância da exploração de recursos, como a madeira. No entanto, apesar do importante papel das florestas, as alterações climáticas e as atividades humanas estão a intensificar os regimes de perturbações, o que acarreta graves consequências sociais, económicas e ecológicas. Os incêndios rurais são cada vez mais frequentes na região Mediterrânica e, particularmente em Portugal, tendo-se observado ao longo das últimas décadas valores elevados de ocorrências e de área ardida. As graves consequências destes incêndios são amplamente reconhecidas. Porém alguns impactos após o fogo, nomeadamente, sobre a qualidade da água, têm sido pouco estudados pela comunidade científica e, regra geral, desvalorizados pelas sociedades.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivos: a elaboração de um modelo conceptual que descreva a forma como os incêndios rurais afetam os serviços hidrológicos relacionados com o aprovisionamento de água às populações humanas; e a aplicação de um novo modelo conceptual à caracterização do impacto ambiental e socioeconómico dos vários incêndios rurais ocorridos na Serra do Caramulo em agosto de 2013, destacando a degradação da qualidade da água para consumo humano devido, em especial, à presença de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs). A necessidade de uma melhor compreensão

dos impactos dos incêndios sobre a qualidade da água motivou o interesse em desenvolver este trabalho de investigação. Devido à dimensão do problema em Portugal, este assunto tem, recentemente, merecido maior atenção por parte da comunidade científica. A dimensão dos impactos dos incêndios registados da Serra do Caramulo em agosto de 2013 justificou a escolha deste território para uma primeira aplicação da moldura conceptual proposta.

Para abordar o tema do impacto dos incêndios rurais sobre a regulação da qualidade da água, foi realizada no **Capítulo 2** uma análise da importância dos serviços ecossistémicos (SE) prestados pela floresta, definidos como benefícios que os indivíduos obtêm de forma direta ou indireta dos ecossistemas florestais. Dos vários métodos e estratégias para identificar, caracterizar e classificar os SE, os mais utilizados e, por esse motivo, os abordados neste trabalho, foram o *Millennium Ecosystem Assessment* (MA) e a *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES). A iniciativa MA propõe um esquema de classificação dos serviços ecossistémicos bastante operacional, acessível e facilmente compreensível por decisores e comunidades não científicas, e propõe um sistema composto por quatro diferentes categorias de serviços: de suporte, de aprovisionamento, de regulação e culturais. Por seu lado, o sistema CICES, propõe uma classificação baseada em três categorias: serviços de aprovisionamento, serviços de regulação e manutenção e serviços culturais. Os serviços de suporte não se enquadram nesta classificação, uma vez que são parte integrante das estruturas, processos e funções que caracterizam os ecossistemas e respetivos serviços. Esta abordagem tem a virtude de evitar a dupla contagem dos benefícios gerados pelos ecossistemas.

No **Capítulo 3**, constatou-se que, apesar de o fogo ser um fator ecológico importante na dinâmica de diversos ecossistemas e paisagens, o seu regime natural tem vindo a ser modificado pela presença do Homem e das suas atividades. A região Mediterrânica é uma área que é fortemente afetada pelos incêndios rurais, sendo os países do sul da Europa mais afetados, nomeadamente Portugal, Espanha, França, Itália e Grécia. Pelo facto de atingirem grandes dimensões em Portugal, os incêndios rurais constituem a principal perturbação aos ecossistemas florestais. Apesar de os anos de 2003, 2005 e 2013 terem sido os mais críticos no que toca a incêndios rurais, valores preocupantes para o ano de 2017 demonstram a

importância do fenómeno e sugerem haver bastante trabalho a realizar ao nível da sua gestão. Os dados disponíveis sobre as causas das ocorrências de incêndios rurais em Portugal indicam que em 40% dos casos de incêndio não foi possível apurar a sua causa. As razões que poderão contribuir para essa investigação inconclusiva resultam da falta de recursos humanos, da destruição dos indícios/evidências físicas e na demora dos meios de investigação ao local da ocorrência. De uma forma particular, foi analisada a influência do fogo sobre a água e a sua qualidade, que depende da forma como as características do fogo (frequência, intensidade, duração e extensão espacial da zona ardida) interagem com as características da bacia hidrográfica e dos sistemas aquíferos subjacentes (clima, declive, tipo de solo, geologia, uso do solo e porção da cobertura vegetal ardida). Apesar de serem vários os poluentes libertados pelos fogos rurais, os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos HAPs) suscitam maior atenção devido ao facto de serem mutagénicos, carcinogénicos e teratogénicos, assinalando-se a carência de estudos sobre os impactos destes poluentes na saúde humana. Foi proposto um modelo conceptual, baseado na moldura DPSIR, para analisar a ocorrência de grandes incêndios rurais, os seus efeitos no estado do sistema e dos serviços hidrológicos, os impactos no bem-estar humano (em particular na saúde) e as possíveis respostas de adaptação e mitigação do problema.

Finalmente, no **Capítulo 4** foi analisada, com base na moldura anterior, a ocorrência dos grandes incêndios que afetaram a Serra do Caramulo em 2013. As análises aos dados disponíveis revelaram um território pouco povoado, envelhecido e com baixo nível de desenvolvimento económico. A resultante gestão passiva ou pouco intensiva da paisagem e dos seus recursos conduziu a uma acumulação de grandes cargas de combustíveis, o que, em conjunto com as condições meteorológicas extremas, propiciou a ocorrência de três incêndios de grandes dimensões. No quadro da aplicação prática do modelo conceptual proposto, foram analisadas as possíveis consequências dos incêndios para a qualidade da água e para a saúde humana, e foram descritas algumas possíveis medidas de adaptação e de mitigação.

5.2. Conclusões e perspectivas futuras

Em síntese, no presente estudo foi estabelecido e aplicado um modelo conceptual que permitiu uma melhor análise dos problemas relacionados com a gestão de recursos hídricos, agregando num único quadro, aspetos culturais e socioeconómicos do ambiente e da saúde humana.

Do ponto de vista científico, a complexidade do tema exigiu uma adequada conceptualização das relações entre fatores, processos e impactos das alterações causadas pelos fogos rurais, para que, desta forma, fosse praticável analisar e compreender os efeitos adversos dos incêndios rurais, principalmente a nível do serviço ecossistémico de regulação da qualidade da água. Apesar da existência de estudos que investigam a relação entre os incêndios rurais e a qualidade da água, não foi ainda efetuada uma avaliação geral dos possíveis impactos dos incêndios rurais sobre os recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

De acordo com a análise do conjunto de incêndios rurais de grande dimensão ocorridos na Serra do Caramulo em 2013, e após aplicado o modelo elaborado, constatou-se não existirem dados concretos que demonstrem a gravidade real dos efeitos para a saúde, e ficou assim evidenciada a importância de obter informação mais concreta acerca dos efeitos dos incêndios e das consequências geradas. Foi possível constatar *in loco* as consequências pós-fogo, uma vez que, com a ocorrência de episódios de precipitação mais abundantes, o curso natural dos rios foi alterado, provocando desta forma, e como foi verificado na ribeira de Dornas, casos de cheias e inundações.

Foi possível comprovar, através da análise de dados sobre os incêndios na Europa e em Portugal, que apesar de ser público e notório o valor ambiental, cultural e socioeconómico da floresta, esta não é satisfatoriamente reconhecida pela população. Este facto conduz a que não seja devidamente valorizada, o que é refletido pela falta e descuido no que toca à gestão das propriedades, nos comportamentos e atitudes negligentes dos indivíduos com a floresta e no maior número de ocorrência de incêndios florestais em toda a região mediterrânica.

Para além das diversas respostas de adaptação e de mitigação propostas através da aplicação do modelo conceptual, assinala-se a importância da formação e sensibilização de

toda a população, nomeadamente para a importância da preservação da floresta e dos seus serviços ecossistémicos, bem como para os riscos e consequências que podem surgir do incorreto uso do fogo. É clara a necessidade de prosseguir e aprofundar a investigação científica, de modo a avaliar os efeitos a longo prazo sobre a saúde humana resultantes da exposição à contaminação da água por incêndios rurais. Uma identificação mais cautelosa e um acompanhamento dos indivíduos expostos podem ajudar neste procedimento. Quanto melhor for a preparação das comunidades humanas para enfrentarem o problema dos incêndios, maior será a possibilidade de mitigar os efeitos adversos para a saúde.

Ao longo do presente estudo foram encontradas algumas limitações à sua realização, nomeadamente a escassez de dados sobre os impactos dos incêndios rurais na qualidade da água e sobre os impactos para a saúde humana resultantes do consumo da água. No caso concreto das localidades/aldeias atingidas pelo incêndio em 2013 na Serra do Caramulo, esta falta de informação não permitiu quantificar a dimensão e gravidade das consequências desse impacto para a população em geral, e para os habitantes das povoações serranas em particular. Esta falta de informação também não permitiu estimar com precisão os custos e os impactos socioeconómicos que sucedem na saúde humana. Como limitação, é, ainda, de referir que, em alguns relatórios sobre a ocorrência de incêndios, verificou-se alguma incoerência, razão justificada devida à proximidade temporal e espacial dos relatórios, ou até pela melhoria e precisão dos dados de anos anteriores.

Neste contexto, a aplicação do modelo conceptual aqui proposto em outros estudos, na análise de grandes incêndios ou em áreas onde a ocorrência de incêndios é recorrente, seria uma importante linha de investigação futura, especialmente em territórios onde esteja disponível informação relativa aos efeitos dos incêndios sobre a qualidade da água e sobre a saúde humana. Como outra linha de investigação futura, é sugerida a aplicação de uma metodologia de quantificação monetária dos efeitos da exposição dos indivíduos a contaminantes, especialmente HAPs provenientes de águas contaminadas por incêndios rurais, permitindo assim quantificar e valorar os impactos e a eficácia das respostas num quadro socioeconomicamente mais relevante.

Referências bibliográficas

- Abdel-Shafy, H., Mansour, M. (2015), A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation, Egyptian Journal of Petroleum, N° 25, pp. 107–123.
- Abrantes, N., (2013), Firetox - Efeitos tóxicos dos incêndios florestais nos sistemas aquáticos. Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro.
- Agência Portuguesa Ambiente (2017), Avaliação Ambiental Estratégica do Programa da Orla Costeira Alcobça-Cabo Espichel. Relatório Ambiental, CEDRU, Biodesing.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2013), Estratégia de adaptação da agricultura e das florestas às alterações climáticas, Portugal Continental. Disponível em: https://www.apambiente.pt/zdata/Politicas/AlteracoesClimaticas/Adaptacao/ENAAAC/RelatDetalhados/Relat_Setor_ENAAC_Agricultura.pdf, acedido em 09-07-2017.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2013), Priority List of Hazardous Substances, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta. Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/spl/>, acedido em 26-1-2017.
- Alawi, M.A., Azeez, A.L. (2016), Study of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil samples from Al-Ahdab oil field in Waset Region, Iraq, Toxin Reviews, 35:3-4, 69-76.
- Boulet, A-K. (2011), Escoamento superficial nos eucaliptais da Serra do Caramulo, Universidade de Aveiro, Departamento de Biologia.
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W. J., Cochrane, M. A., D'Antonio, C. M., DeFries, R., Johnston, F.H., Keeley, J.E., Krawchuk, M.A., Kull, C.A., Mack M., Moritz, M.A., Pyne, S., Roos, C.I., Scott, A.C, Sodhi, N.S., Swetnam, T.W. (2011), The human dimension of fire regimes on Earth. Journal of Biogeography, 38(12), 2223–2236.

Bradley, P., Yee S. (2015), Using the DPSIR Framework to Develop a Conceptual Model: Technical Support Document. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-15/154.

Brauman, K.A., Daily, G.C., Duarte, T.K., Mooney, H.A. (2007), The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 32, 67–98.

Burkhard, B., de Groot, R., Costanza, R., Seppelt, R., Jørgensen, E., Potschin, M. (2012), Solutions for sustaining natural capital and ecosystem services. *Ecological Indicators*, 21, 1–6.

Câmara Municipal de Vouzela (2014), Parque Natural Vouga – Caramulo (Vouzela). Disponível em http://www.cm-vouzela.pt/index.php?option=com_rokdownloads&view=folder&Itemid=125&id=1160:abertura-do-periodo-de-discussao-publica-parque-natural-local-vouga-caramulo-vouzela, acedido em 26-1-2017.

Camia, A., Durrant, H. T., San-Miguel-Ayán, J. (2013), Harmonized classification scheme of fire causes in the EU adopted for the European Fire Database of EFFIS. Publications Office of the European Union, Executive Report, ISSN 1831-9424.

Carvalho-Santos, C. (2014), Analysing hydrological services provided by forests to support spatial planning and land management. Dissertation, Faculty of Sciences, University of Porto, Porto.

Carvalho-Santos, C., Honrado, J., Hein, L. (2014), Hydrological services and the role of forests: conceptualization and indicator-based analysis with an illustration at a regional scale. *Ecol. Complex.*, 20:69–80.

Carvalho-Santos, C., Nunes, J., Monteiro, A., Hein, L., Honrado, J. (2016), Assessing the effects of land cover and future climate conditions on the provision of hydrological services in a medium-sized watershed of Portugal, *Hydrological Processes*, Vol. 30, pp. 720–738.

Certini, G. (2005), Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* 143,1-10.

Comissão Europeia (2009), Bens e Serviços Ecosistémicos. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Ecosystems%20goods%20and%20Services/Ecosystem_PT.pdf, acedido em 14-03-2017.

De Castro, C.F, Serra, G., Parola, J., Reis, J., Lourenço, L., Correia, S. (2003), Combate a incêndios florestais. Escola Nacional de Bombeiros. V. XIII, 2ª edição, Sintra.

Decreto-Lei n.º 103/2010 de 24 de setembro, Diário da República n.º 187 - I Série, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.

Decreto-Lei n.º 17/2009 de 14 de janeiro, Diário da República n.º 9 - I Série, Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa.

Decreto-Lei n.º 208/2008 de 28 de outubro, Diário da República, nº 209 - I Série. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.

Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto, Diário da República n.º 164 - I Série, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Defesa da Floresta Contra Incêndios (2005), O conceito de prevenção. Disponível em: http://www.isa.utl.pt/pndfci/relatorio_intercalar/docs/8_1.pdf, acedido em 02-09-2017.

Department of Atmospheric Sciences (2016), A Summary of the Hydrologic Cycle, University of Illinois at Urbana-Champaign. Disponível em: [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/hyd/smry.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/hyd/smry.rxml), acedido em 08-05-2017.

Diaz, J.M. (2012), Economic Impacts of Wildfires. Prepared for the Southern Fire Exchange. North Carolina State University, University of Florida, SFE Fact Sheet 2012-7.

Diretiva 2006/118/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12 de dezembro de 2006. Jornal Oficial da União Europeia, Luxemburgo.

Duarte, C.G. (2015), Efeito dos fogos florestais sobre a água subterrânea na Serra do Caramulo. Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente, Departamento

de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

European Commission (2012), The European Forest Fire Information System (EFFIS): New fire causes classification scheme adopted for the European Fire Database. Institute for Environment and Sustainability & Forest Resources and Climate Unit. Version 1.0, 04/2012.

European Environment Agency (2016), European forest ecosystems - State and trends. Luxembourg: Publications Office of the European Union, EEA report, No 5/2016, ISSN 1977-8449.

European Environment Agency (2017), Towards a common classification of ecosystem services, Structure of CICES. Disponível em <https://cices.eu/cices-structure/>, acessado em 27-03-2017.

Fernandes, P. M., Loureiro, C., Guiomar, N., Pezzatti, G. B., Torres, F. T., Lopes, L. (2014), The dynamics and drivers of fuel and fire in the Portuguese public forest. *Journal of Environmental Management*, 146, 373-382.

Fernandes, S.P. (2015), Incêndios Florestais em Portugal Continental fora do “Período Crítico”. Contributos para o seu conhecimento. Dissertação de mestrado. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, na área de especialização em Ambiente e Ordenamento do Território. Universidade de Coimbra.

Ferreira, A.J.D., Coelho, C.O.A., Boulet, A.K., Lopes, F.P. (2005), Temporal patterns of solute loss following wildfires in Central Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, 14, 401-412.

Ferreira, C.M. (2008), Caracterização de Méis da Serra do Caramulo. Universidade de Aveiro, Departamento de Química.

Ferreira, J., Novo, M., Oliveira, M., Laranjeira, I., Leitão, T., Henriques, M., Martinho, N., Quinta-Nova, L., Fernandez, P., Tojeira, R., Roque, N., Mestre, S., Dias, S., Lopes, M., Paralta, E., Freire, M., Galhetas, M., Gomes, S., Matos, C., Gamboa, M. (2009), Avaliação

do Impacto de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. Relatório Final de execução Material. 351/2009-NAS, pp. 555.

Finlay, S. E., Moffat, A., Gazzard, R., Baker, D., Murray, V. (2012), Health Impacts of Wildfires. Public Library of Science Currents, 4.

Fisher, B., Bateman, I. Turner, R.K. (2011), Valuing ecosystem services: benefits, values, space and time. Ecosystem Services Economics. Working Paper Series n.º 3. Division of Environmental Policy Implementation, The United Nations Environment Programme.

Forestry Commission (2011), Forests and water. UK Forestry Standard Guidelines. Edinburgh. i-iv + 1-80 pp.

Fowler, C.T. (2003), Human health impacts of forest fires in the southern United States: a literature review. Journal of Ecological Anthropology, 7, 39-63.

Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M., Lampin, C. (2013), A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire Ignition over Europe. Environment Management, 51, 651-662.

Gil, A. (2011), O Planeamento de Recursos Hídricos no actual contexto de incerteza: objectivos e metodologias. Dissertação de mestrado. Mestrado em Engenharia Militar. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Portugal.

Haines-Young, R., Potschin, M. (2009), Methodologies for defining and assessing ecosystem services, Final Report, JNCC.

Haines-Young, R., Potschin, M. (2012), Common International Classification of Ecosystem Services (CICES V4): Consultation Briefing Note, July 2012. EEA Framework.

Haines-Young, R., Potschin, M. (2013), Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003.

Halton region (2017), Possible Health Effects of Drinking Contaminated Well Water. Disponível em <http://www.halton.ca/cms/One.aspx?pageId=15092>, acedido em 04-07-2017.

Hartse, S., Rivera, H., Cruz, N. (2014), The Impact of Forest Fires on Water Resources. New Mexico Supercomputing Challenge Final Report 1. Desert Academy, Academy for Technology and the Classics, Santa Fe High School.

Honrado, J., Alonso, J., Gonçalves, j., Pinto, A., Ribeiro, S., Guerra, C., Almeida, R., Alves, N. (2011), Ecologia, diversidade e dinâmicas recentes dos ecossistemas florestais nas paisagens do Norte de Portugal. In Ecologia, diversidade e dinâmicas recentes dos ecossistemas florestais nas paisagens do Norte de Portugal.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2013a), Relatório dos grandes Incêndios Florestais na Serra Do Caramulo.. Departamento de Conservação da Natureza e Florestas do Centro. Relatório nº R DCNF-C/01/2013, Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2013b), Relatório de avaliação dos impactos sobre espaços florestais, decorrentes do incêndio florestal na Serra do Caramulo. Departamento de Conservação da Natureza e Florestas do Centro. Relatório, nº R DCNF-C/01/ 2013, Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2014a), Análise das causas dos incêndios florestais - 2003 – 2013. Departamento de Gestão de Áreas Classificadas, Públicas e de Proteção Florestal. Relatório, nº Causas 03-13/2014, Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2014b), Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal continental (2013). Departamento de Gestão de Áreas Classificadas, Públicas e de Proteção Florestal.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2015), Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal continental (2014). Departamento de Gestão de Áreas Classificadas, Públicas e de Proteção Florestal.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2016a), Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal continental (2015). Departamento de Gestão de Áreas Classificadas, Públicas e de Proteção Florestal.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2016b), 9º Relatório provisório de incêndios florestais (2016) 01 de janeiro a 15 de outubro. Relatório nº RIF09/2016. Departamento de Gestão de Áreas Públicas e de Proteção Florestal.

Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (2017), 2º Relatório provisório de incêndios florestais (2017) 01 de janeiro a 30 de junho. Relatório nº RIF02/2017. Departamento de Gestão de Áreas Classificadas, Públicas e de Proteção Florestal.

Instituto Nacional de Estatística (2014), Incêndios de Grande Dimensão e Gravidade 2013. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boei=216873602&DESTAQUESmodo=2&xlang=pt, acessado em 20-08-2017.

Instituto Nacional de Estatística (2017), Censos 2011. Disponível em: http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos_ficheirosintese, acessado em 01-09-2017.

Keane, R.E., Agee, J.K., Fulé, P., Keeley, J.E., Key, C., Kitchen, S.G., Miller, R., Schulte, L.A. (2008), Ecological effects of large fires on US landscapes: benefit or catastrophe? *International Journal of Wildland Fire*, 17:696–712.

Krawchuk, M. A., Moritz, M. A., Parisien, M.-A., Van Dorn, J., Hayhoe, K. (2009), Global Pyrogeography: the Current and Future Distribution of Wildfire. *PLOS ONE*, 4(4).

Kristensen, P. (2004), The DPSIR framework. National Environmental Research Institute, Denmark, Department of Policy Analysis. European Topic Centre on Water, European Environment Agency.

Lança, R., Rocheta, V., Martins, F., Fernandez, H., Silva, E., Pedras, C. (2014), Modificação das propriedades hidráulicas dos solos da serra algarvia devido aos incêndios florestais. In

Lourenço, Luciano (Ed.), *Multidimensão e território de risco*, Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 715-719.

Landmann, G., Held, A., Schuck, A., Van Brusselen, J. (eds.) (2015), *European forests at risk. A scoping study in support of the development of a European Forest Risk Facility*. European Forest Institute.

Landsburg, J.D., Tiedemann, A.R. (2000), *Fire management*. In *Drinking water from forests and grasslands: A synthesis of the scientific literature*. 124-138, General Technical Report SRS-39. Asheville. NC: USDA Forest Service, Southern Research Station. Edited by Dissmeyer, G.E.

Laranjeira, L., Leitão, T. (2008), *Avaliação do impacto de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. Análise do impacto dos fogos florestais na qualidade química das águas superficiais e subterrâneas das áreas de estudo da Região Centro*. 3.º Relatório de Progresso relativo ao ano de 2007, LNEC, 88.

Laumann, S., Micić, V., Krüge, M.A., Achten, C., Sachsenhofer, R.F., Schwarzbauer, J., Hofmann, T. (2011), *Variations in concentrations and compositions of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coals related to the coal rank and origin*. *Environmental Pollution*, 159 (10), 2690-2697.

Lee, B.-K., Vu, V.T. (2010), *Sources, Distribution and Toxicity of Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) in Particulate Matter*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Ulsan, Korea.

Lei n.º 76/2017 de 17 de agosto, Diário da República n.º 158 - I Série, Assembleia da República, Lisboa.

Leitão, T.E., Laranjeira, I., Ferreira, J.P.L. (2011), *Impacto dos fogos florestais na qualidade da água: alguns exemplos em Portugal*. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, LNEC, 10.º SILUSBA.

Liu, H. Y., Bartonova, A., Pascal, M., Smolders, R., Skjetne, E., Dusinska, M. (2012), Approaches to integrated monitoring for environmental health impact assessment. *Environ Health*, 11, 88.

Loepfe, L., Martinez-Vilalta, J., Oliveres, J., Piñol, J., Lloret, F. (2010), Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas, *Forest Ecology and Management*, 259(12) 2366–2374.

Lote, A. (2016), Diagnóstico Social do Município de Fornos de Algodres, Câmara Municipal de Fornos de Algodres. Disponível em: <http://www.cm-fornosdealgodres.pt/balcao-online/diagnostico-social/>, acedido em 02-09-2017.

Lourenço, L., Fernandes, S., Bento-Gonçalves, A., Aastro, A., Nunes, A., Vieira A. (2012), Causas de incêndios florestais em Portugal continental (1996 a 2010). *Cadernos de geografia*, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, nº 30/31, pp. 61-80, Coimbra.

Lourenço, L. (2007), Incêndios Florestais de 2003 e 2005. Tão perto no tempo e já tão longe na memória. In Lourenço, Luciano (coord.) – *Riscos Ambientais e Formação de Professores*, Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais da Faculdade de Letras.

Lourenço, L., Bernardino, S. (2013), Condições meteorológicas e ocorrência de incêndios florestais em Portugal Continental (1971-2010). *Cadernos de Geografia*. Nº 32.

Lourenço, L., Serra, G., Mota, L., Paúl, J.J., Correia, S., Parola, J., Reis, J. (2006), Manual de combate a incêndios florestais para equipas de primeira intervenção. Escola Nacional de Bombeiros. *Cadernos especializados*. 3ª Edição, Sintra.

Macdonald, R. W., Harner, T., Fyfe, J. (2005), Recent climate change in the Arctic and its impact on contaminant pathways and interpretation of temporal trend data. *Science of The Total Environment*, 342(1), 5-86.

Maes, J., Teller, A., Erhard, M., Liqueste, C., Braat, L., Berry, P., Egoh, B., Puydarrieux, P., Fiorina, C., Santos, F., Paracchini, M.L., Keune, H., Wittmer, H., Hauck, J., Fiala, I., Verburg, P.H., Condé, S., Schägner, J.P., San Miguel, J., Estreguil, C., Ostermann, O., Barredo, J.I., Pereira, H.M., Stott, A., Laporte, V., Meiner, A., Olah, B., Royo Gelabert, E.,

Spyropoulou, R., Petersen, J.E, Maguire, C., Zal, N., Achilleos, E., Rubin, A., Ledoux, L., Brown, C., Raes, C., Jacobs, S., Vandewalle, M., Connor, D., Bidoglio, G. (2013), Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publications office of the European Union, Luxembourg.

Mansilha, C., Carvalho, A., Guimarães, P., Marques, J. (2014), Water Quality Concerns Due to Forest Fires: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) Contamination of Groundwater from Mountain Areas. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*; 77:806–815.

Mansilha, C., Duarte, C.G., Melo, A., Ribeiro, J., Flores, D., Espinha Marques, J. (2017), Impact of wildfire on water quality in Caramulo mountain ridge (Central Portugal). *Sustain. Water Resour. Manag.*

Martins, J.A. (1962), Contribuição para o conhecimento geológico da região do Caramulo. *Mem. da Junta de Energia Nuclear*, 35: pp. 123-227.

Martins, V. (2007), Impacto dos Incêndios Florestais na Qualidade do Ar. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Dissertação de mestrado. Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade de Aveiro. Aveiro.

Mateus, P. (2015), Incêndios Florestais em Portugal: dinâmicas e políticas. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Engenharia Florestal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. Portugal.

Maxim, L., Spangenberg, J.H., O'Connor, M. (2009), An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological Economics* 69, 12-23.

Meinhardt, P. (2017), Water Quality and Water-Related Disease. *Oxford Bibliographies in Public Health*. Disponível em <http://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199756797/obo-9780199756797-0052.xml#firstMatch>, acedido em 04-07-2017.

Meixner, T., Wohlgemuth, P. (2004), Wildfire impacts on water quality. *Southwest Hydrology*, Sept./Oct. 2004, p. 24-25.

Meneses, B. (2013), Os incêndios florestais e a qualidade da água. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.

Moreira, F., Catry, F.X., Silva, J.S., Rego, F. (2010), Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas. Isapress, Lisboa, 323 pp.

Morgan, P., Hardy, C., Swetnam, T.W., Rollins, M.G., Long, D.G. (2001), Mapping fire regimes across time and space: understanding coarse- and fine-scale fire patterns. *International Journal of Wildland Fire*, 10, 329–342.

Murphy, S.F., Writer, J.H., (2011), Evaluating the effects of wildfire on stream processes in a Colorado Front Range watershed, USA: *Applied Geochemistry*, v. 26, p. S363–S364.

Neary, D.G., Ryan, K.C., DeBano, L.F., eds. (2005), *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 p.

New Mexico Environment Department (2013), *Wildfire impacts on surface water quality*. Disponível em <https://www.env.nm.gov/swqb/Wildfire/FAQ06-14-13.pdf>, acedido em 04-07-2017.

Nunes, A. (2012), Regional variability and driving forces behind forest fires in Portugal an overview of the last three decades (1980-2009). *Applied Geography*, 34, 576-586.

Nunes, A., Oliveira, S., Lourenço, L., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Félix, F. (2015), Vulnerabilidade a incêndios na Europa Mediterrânea. Abordagem conceptual e a utilização de dados de satélite. Trabalho apresentado em I Jornadas Lusófonas CTIG, In Atas das I Jornadas Lusófonas CTIG, Coimbra.

Oosterwind, D., Rau, A., Zaiko, A. (2016), Drivers and pressures - Untangling the terms commonly used in marine science and policy. *J Environ Manage* 181:8–15.

Olivella, M. A., Ribalta, T. G., de Febrer, A. R., Mollet, J. M., de las Heras, F. X. C. (2006), Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine waters after Mediterranean forest fires. *Science of The Total Environment*, 355(1), p. 156-166.

Paige, G., Zygmunt, J. (2013), *The Science Behind Wildfire Effects on Water Quality, Erosion*. University of Wyoming.

Pais, P.A.C., dos Santos, C.C. (2015), Avaliação de risco de incêndio em centros históricos- o caso de Castelo Branco. *Agroforum: Revista da Escola Superior Agrária de Castelo Branco*. ISSN: 0872-2617. Ano 23, n.º 34, p. 39-50.

Paixão, L. (2014), Simulação de comportamento de fogo em zonas florestais no alentejo central: comparação de modelos de combustível. Dissertação de mestrado. Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa. Portugal.

Parlamento Europeu (2017), A União Europeia e as Florestas, situação das florestas na União Europeia: Ecossistemas valiosos com múltiplas facetas e utilizações distintas. Disponível em: http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/pt/FTU_5.2.11.pdf, acedido em 18-03-2017.

Patrício, J., Elliott, M., Mazik, K., Papadopoulou, K-N., Smith, C.J. (2016), DPSIR - Two Decades of Trying to Develop a Unifying Framework for Marine Environmental Management? *Frontiers in Marine Science*, 3:177.

Pereira, H. M., Domingues, T., Vicente, L., Proença, V. (coord.) (2009), *Ecossistemas e Bem-Estar Humano: Avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment*. Centro de Biologia Ambiental. Escolar Editora, Lisboa.

Pereira, J. (2014), *O Futuro da Floresta em Portugal*. Editora Fundação Francisco Manuel dos Santos, Lisboa.

Pereira, J.M.C. (2015), *Ecologia do fogo*, material da disciplina de Ecologia e Gestão do Fogo, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, disponível em: <https://fenix.isa.ulisboa.pt/qubEdu/disciplinas/ecogf-0/2015-2016/2-semester/lateral/study-materials/ecologia-do-fogo>, acedido em 28-07-2017.

Pereira, J. (2017), Fogos rurais em Portugal Continental: causas e consequências. Disponível em: http://www.seta.org.pt/artigo2_25.pdf, acedido em 26-03-2017.

Pereira, J.M.C., Carreiras, J.M.B., Silva, J.M.N., Vasconcelos, M.J. (2006), Alguns conceitos básicos sobre os fogos rurais em Portugal, in Incêndios Florestais em Portugal: Caracterização, Impactos e Prevenção, edited by J.S. Pereira, Pereira, J.M.C., Rego, F.C., Silva, J.M.N., Silva, T.P., pp. 133-161, ISAPress, Lisboa.

Pereira, J.S., (1988), A Serra do Caramulo – desintegração de um espaço rural. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Letras. Coimbra.

Pereira, M.G., Aranha, J., Amraoui, M. (2014), Land cover fire proneness in Europe. Forest Systems, 23(3): 598–610.

Pike, R.G, Feller, M.C, Stednick, J.D, Rieberger, K.J, Carver, M. (2009), In: Pike RG, Redding TE, Moore RD, Winkler RD, Bladon KD (eds) Water Quality and Forest Management: Chapter 12, Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia, Edition: Land Manag Handb 66, Publisher: Province of British Columbia and FORREX, Vancavour, VC.

PORDATA (2017), Incêndios florestais e área ardida – Europa (2015). Disponível em: <http://www.pordata.pt/Europa/Inc%C3%AAndios+florestais+e+%C3%A1rea+ardida-1374>, acedido em 05-05-2017.

Ragonnaud, G., (2017), A União Europeia e as Florestas. Fichas técnicas sobre a União Europeia. Parlamento Europeu.

Ranalli, A.J., (2004), A Summary of the Scientific Literature on the Effects of Fire on the Concentration of Nutrients in Surface Waters: U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1296, 23 pp.

Reddy, R. V, Behera, B. (2006), Impact of water pollution on rural communities: An economic analysis. Ecological Economics, 58,520 – 537.

Rengarajan, T., Rajendran, P., Nandakumar, N., Lokeshkumar, B., Rajendran, P., Nishigaki, I. (2015), Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 5(3), pp. 182-189.

Ribeiro, P. M. (2006), Caracterização da flora vascular e do padrão e dinâmica da paisagem na Serra do Caramulo. Análise do estado de conservação de taxa prioritários. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Rounsevell, M. D. A., Dawson, T. P., Harrison, P. A. (2010), A conceptual framework to assess the effects of environmental change on ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 19(10), 2823-2842.

San-Miguel-Ayanz J., Camia, A., (2012), The European Forest Fire Information System (EFFIS), Towards a Global Wildfire Information System (GWIS). European Commission (EU).

San-Miguel-Ayanz, J., Moreno, J.M, Camia, A. (2013), Analysis of large fires in European Mediterranean landscapes: lessons learned and perspectives. *For Ecol Manage* 294:11–22.

Shakesby, R.A., Doerr, S.H. (2006), Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth Science Reviews* 74, 269–307.

Sham, C.H., Tuccillo, M.E., Rooke, J. (2013), Effects of Wildfire on Drinking Water Utilities and Best Practices for Wildfire Risk Reduction and Mitigation. Water Research Foundation and U.S. Environmental Protection Agency, Web Report #4482, U.S.A.

Silva, Á., Cunha, S., Coelho, F., Nunes, L., Pires, V., Mendes, L., Cota, T., Belo, M., Neto, J., Mendes, M., (2010), Atlas Climatológico de Portugal Continental 1971-2000: Cartografia da temperatura do ar e da precipitação.

Silva, V., Pereira, J.L., Gonçalves, F., Keizer, I.J., Abrantes, N. (2016), Efeitos dos fogos florestais nos sistemas aquáticos. *CAPTAR*, v.6(2): p.68-77, 2016.

Smith, H., Cawson, J., Sheridan, G., Lane, P. (2011), Desktop review: Impact of bushfires on water quality. Prepared for the Australian Government Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities by the University of Melbourne.

SNIG, Sistema Nacional de Informação Geográfica (2017), Visualizador de mapas. Disponível em: <http://snig.dgterritorio.pt/geoportalmviewer/index.html>, acedido em: 05-09-2017.

Soulis, K.X., Dercas, N., Valiantzas, J.D. (2012), Wildfires impact on hydrological response – the case of Lykorrema experimental watershed, *Global Nest J.*, 14 (3), 303-310.

Stein, E. D., Brown, J. (2009), Effects of post-fire runoff on surface water quality: Development of a Southern California regional monitoring program with management questions and implementation recommendations. Technical report 598, Southern California Coastal Water Research Project, Costa Mesa.

Tecle, A., Neary, D. (2015), Water Quality Impacts of Forest Fires, *Pollution Effects & Control*, Vol. 3, Nº2, pp. 2375-4397.

Tedim, F., Xanthopoulos, G., Leone, V., (2014), Forest Fires in Europe: Facts and Challenges. *Wildfire Hazards, Risks, and Disasters*. 1 Edition, 5, Elsevier, pp. 77-99.

Thom, D., Seidl, R. (2016), Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biol Rev*, 91: 760–781.

Thorsen, B. J., Mavsar, R., Tyrväinen, L., Prokofieva, I., Stenger, A. (2014), The Provision of Forest Ecosystem Services. Volume I: Quantifying and valuing non-marketed ecosystem services. European Forest Institute.

Tongo, I., Ogbeide, O., Ezemonye, L. (2016), Human health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in smoked fish species from markets in Southern Nigeria. *Toxicology Reports*, 4, pp. 55-61.

Turco, M., Bedia, J., Di Liberto, F., Fiorucci, P., von Hardenberg, J., Koutsias, N., Llasat, M., Xystrakis, F., Provenzale, A. (2016), Decreasing Fires in Mediterranean Europe. *PLOS ONE* 11(3).

UNECE, United Nations Economic Commission for Europe, (2014), The Value of Forests Payments for Ecosystem Services in a Green Economy. United Nations Publication, Geneva, ECE/TIM/SP/34.

United Nations Department of Economic and Social Affairs (2014), Water Quality. Disponível em <http://www.un.org/waterforlifedecade/quality.shtml>, acessado em 13-07-2017.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO (2012), Managing Water under Uncertainty and Risk. Disponível em: http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/WWAP_WWDR4%20Facts%20and%20Figures.pdf, acessado em 10-07-2017.

United States Department of Agriculture (2017), Ecosystem Services. Disponível em: <https://www.fs.fed.us/ecosystemservices/>, acessado em 17-03-2017.

USGS, United States Geological Survey, (2017), Ciclo da água. Disponível em <https://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>, acessado em 05-09-2017.

Vale, M., Reis, R., Meneses, B., Ribeiro, M. (2012), Identificação das principais forças motrizes: abordagem quantitativa, LANDYN, PTDC/CS-GEO/101836/2008. Fundação para a Ciência e Tecnologia, Direção Geral do Território.

Viegas, D.X., Ribeiro, L.M, Almeida, M.A., Oliveira, R., Viegas, M. P, Raposo, J.R., Reva,V., Figueiredo, A.R., Lopes, S. (2013), Os grandes incêndios florestais e os acidentes Mortais ocorridos em 2013 – Parte 1 –, Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais, ADAI/LAETA, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.

Vila-Escale, M., Vegas-Vilarrubia, T., Prat, N. (2007), Release of polycyclic aromatic compounds into a Mediterranean creek (Catalonia, NE Spain) after a forest fire. Water Resources, 41, 2171-2179.

Vilar, L., Camia, A., San-Miguel-Ayanz, J., Martín, M. (2016), Modeling temporal changes in human-caused wildfires in Mediterranean Europe based on Land Use-Land Cover interfaces, (Vol. 378).

Weidema, B. P. (2007), Framework for and review of biodiversity indicators for forest management in the context of product life cycle assessment. Draft report prepared for TetraPak. Hørsholm: 2.-0 LCA consultants.

Wickliffe, J., Overton, E., Frickel, S., Howard, J., Wilson, M., Simon, B., Blake, D. (2014), "Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons using analytical methods, toxicology, and risk assessment research: seafood safety after a petroleum spill as an example". Environmental Health Perspectives (Online), 122(1), 6.

World Health Organization (2013a), Polynuclear aromatic hydrocarbons in Drinking water. Guidelines for drinking-water quality. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/polyaromahydrocarbons.pdf,
acedido em 12-07-2017.

World Health Organization (2013b), Water Quality and Health Strategy 2013-2020. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/water_quality_strategy.pdf?ua=1,
acedido em 13-07-2017.

World Health Organization (2017), Water. Disponível em <http://www.who.int/topics/water/en/>,
acedido em 04-07-2017.

Anexos

Anexo I – Níveis de categoria das causas (Direção Geral de Recursos Florestais)

CODIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DAS CATEGORIAS DAS CAUSAS	
<p>A classificação da causalidade dos incêndios florestais assume uma estrutura hierárquica de três níveis, identificando-se cada causa específica com três algarismos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • primeiro algarismo – identifica uma das seis categorias de causas. • segundo algarismo – descrimina as causas do nível anterior, identificando-as em grupos e descriminando actividades específicas. • terceiro algarismo – divide em subgrupos as actividades e descrimina comportamentos e atitudes específicas. 	
1 USO DO FOGO	
11 Queima de lixo	Destruição de lixos pelo fogo.
111 Autárquica	Uso do fogo com origem em lixeiras autárquicas, com ou sem intervenção humana na fase de ignição.
112 Indústria	Uso do fogo para destruição de resíduos industriais.
113 Comércio	Uso do fogo para destruição de lixos provenientes de actividades comerciais, como por exemplo resíduos de feirantes, etc.
114 Actividades clandestinas	Queima de lixos e entulhos acumulados em locais não permitidos. Por vezes, a queima nem é provocada pelo responsável pela acumulação do material.
115 Núcleos habitacionais permanentes	Queima de lixos resultantes da actividade doméstica (releixo).
116 Núcleos habitacionais temporários associados ao recreio	Destruição de lixos por queima com origem em de zonas temporariamente frequentadas, como por exemplo parques de lazer, parques de merendas, campismo, etc.
12 Queimadas	Queima pelo fogo de combustíveis agrícolas e florestais.
121 Limpeza do solo agrícola	Queima de combustíveis agrícolas de forma extensiva, como é o caso do restolho, panasco, etc.
122 Limpeza do solo florestal	Queima de combustíveis florestais empilhados ou de forma extensiva, como restos de cortes e preparação de terrenos.
123 Limpeza de áreas urbanizadas	Queima de combustíveis empilhados ou de forma extensiva, para limpeza de áreas urbanas e urbanizáveis.
124 Borralheiras	Queima de restos da agricultura e matos confinantes, após corte e ajuntamento.
125 Renovação de pastagens	Queima periódica de matos e herbáceas com o objectivo de melhorar as qualidades forrageiras das pastagens naturais.
126 Penetração em áreas de caça e margens dos rios	Queima de matos densos e brenhas com o objectivo de facilitar a penetração do homem no exercício venatório e da pesca.
127 Limpeza de caminhos, acessos e instalações	Queima de combustíveis que invadem casa, terrenos, acessos, caminhos, estradões, etc.
128 Protecção contra incêndios	Uso do fogo de forma incorrecta, quando se pretende diminuir os combustíveis para protecção contra incêndios.
129 Outras	Outro tipo de queimadas.
13 Lançamento de foguetes	Uso do fogo para diversão e lazer.
131 Com medidas preventivas	Lançamento de foguetes com licenciamento, seguros, presença dos corpos dos bombeiros, autoridades, etc.
132 Clandestinos	Lançamento clandestino de foguetes sem qualquer medida preventiva, incluindo as anteriores.
133 Auto-ignição	Ignição de material explosivo proveniente do lançamento de foguetes, decorrido algum tempo.
14 Fogueiras	Uso do fogo com combustíveis empilhados.
141 Recreio e lazer	Uso do fogo em parques de campismo, "fogos de campo", Rallye de Portugal, etc.
142 Confeção de comida	Uso do fogo para confeção de alimentos, designadamente sardinhas, churrascos, etc.
143 Aquecimento	Uso do fogo para aquecimento, designadamente em trabalhos a céu aberto.
144 Reparação de estradas	Uso do fogo para construção, reparação ou manutenção de estradas asfaltadas.
145 Outras	Outro tipo de fogueiras.

(CONT.)		
15	Fumar	Fumadores que lançam as pontas incandescentes ao solo.
151	Fumadores a pé	Cigarros e fósforo lançados ao solo por fumadores que se deslocam a pé.
152	Em circulação motorizada	Cigarros e fósforo lançados ao solo por fumadores que se deslocam em veículo motorizado.
16	Apicultura	Uso do fogo por apicultores.
161	Fumigação	Por esvaziamento do conteúdo do fumigador ou por contacto com combustíveis finos ou mortos.
162	Desinfestação	Uso do fogo para desinfestação de material apícola, para afugentar animais nocivos, etc..
17	Chaminés	Transporte de partículas incandescentes.
171	Industriais	Dispersão de faúlhas ou outro tipo de material incandescente a partir de chaminés industriais.
172	De habitação	Dispersão de faúlhas ou outro tipo de material incandescente a partir de chaminés de casas de habitação e instalações agrícolas.
173	Outras	Outro tipo de chaminés.
2 ACIDENTAIS		
21	Transportes e comunicações	Faíscas e faúlhas que dão origem a ignições de combustível.
211	Linhas eléctricas	Linhas de transporte de energia eléctrica que por contacto, descarga, quebra ou arco eléctrico, dão origem a ignição.
212	Caminhos de ferro	Material incandescente proveniente do sistema de travagem ou locomoção de circulação ferroviária.
213	Tubos de escape	Libertação de material incandescente e condução de calor através de condutores de escape de veículos de circulação geral.
214	Acidentes de viação	Acidentes de viação que originam ignições em combustíveis vegetais.
215	Outros acidentes	Outras causas acidentais ligadas aos transportes e comunicações.
22	Maquinaria e equipamento	Maquinaria e equipamento de uso específico nas actividades agro-florestais.
221	Alfaias agrícolas	Ignições com origem no atrito de partes metálicas com pedras.
222	Máquinas agrícolas	Emissão de partículas incandescentes, faíscas e transmissão de calor por condução.
223	Equipamento florestal	Emissão de partículas incandescentes, faíscas e transmissão de calor por condução.
224	Motosserras	Emissão de partículas incandescentes, faíscas e transmissão de calor por condução.
225	Máquinas florestais	Emissão de partículas incandescentes, faíscas e transmissão de calor por condução.
226	Máquinas industriais	Emissão de partículas incandescentes, faíscas e transmissão de calor por condução.
227	Outra maquinaria e equipamento	Outra maquinaria e equipamento que dê origem a ignições de combustível vegetal.
23	Outras causas acidentais	Causas acidentais menos comuns.
231	Explosivos	Utilização de explosivos em usos civis, nomeadamente rompimento de estradas, pedreiras, minas, etc.
232	Soldaduras	Trabalhos de soldadura em construção civil, como por exemplo canalizações, pontes metálicas, etc.
233	Disparos de caçadores	Disparos de caçadores provenientes de armas de fogo.
234	Exercícios militares	Incêndios com origem em actividades militares, nomeadamente disparos de artilharia, utilização, de maquinaria, utilização de fogo para aquecimento ou confecção de alimentos por parte de soldados.
235	Vidros	Incêndios com origem em montureiras e outras de acumulações daqueles materiais com probabilidade de ocorrer o efeito de lente.
236	Outras	Outras causas acidentais.

3 ESTRUTURAIS		
31	Caça e vida selvagem	Causas com origem em comportamentos e atitudes reactivas aos condicionalismos dos sistemas de gestão agro-florestais.
311	Conflitos de caça	Incêndios originados por conflitos motivados pelo regime cinegético.
312	Danos provocados pela vida selvagem	Quando existem danos em culturas agrícolas provocados por javali, lobo, coelhos, etc., é utilizado o fogo para afastar os animais.
33	Uso do solo	Causas com origem em conflitos relacionados com o uso do solo.
333	Alterações no uso do solo	Incêndio motivado por alterações no uso do solo, como são exemplos a construção, os limites do PDM, etc.
334	Pressão para venda de material lenhoso	Incêndio provocado com o objectivo da desvalorização do material lenhoso ou falta de matéria prima.
335	Limitação ao uso e gestão do solo	Incêndio provocado para resolver algumas limitações de uso e gestão do solo, como sucede por exemplo com áreas protegidas.
336	Contradições no uso e fruição dos baldios	Incêndios motivados pela forma de exploração e usufruto de baldios, independentemente da modalidade de gestão.
37	Defesa contra incêndios	Actividades de DFCI.
337	Instabilidade laboral nas actividades de DFCI	Incêndios com origem na actividade de detecção, protecção e combate aos incêndios florestais.
38	Outras causas estruturais	Outras situações estruturais.
4 INCENDIARISMO		
41	Inimputáveis	Situações de ausência de dolo.
412	Brincadeiras de crianças	Brincadeiras várias que dão origem a ignições.
413	Irresponsabilidade de menores	Menores que provocam incêndios de forma irresponsável.
417	Piromania	Incêndios provocados por indivíduos com esta anomalia.
419	Outras situações inimputáveis	Outras situações de anomalia, como por exemplo a demência, etc.
44	Imputáveis	Situações de dolo.
441	Manobras de diversão	Fogo posto com o intuito de enganar, desviar as atenções e confundir as forças de combate, autoridade, etc..
444	Provocação aos meios de combate	Fogo posto com o objectivo de despoletar a actuação dos meios de combate, especialmente os meio aéreos.
445	Conflitos entre vizinhos	Fogo posto como forma de resolver vários tipos de conflitualidade entre vizinhos.
446	Vinganças	Fogo posto que tem por motivação a vingança.
448	Vandalismo	Utilização do fogo por puro prazer de destruição.
449	Outras situações dolosas	Situações que não estejam ainda tipificadas.
5 NATURAIS		
51	Ralo	Descargas eléctricas com origem em trovoadas.
6 INDETERMINADAS		
60	Indeterminadas	Ausência de elementos objectivos suficientes para a determinação da causa.
610	Prova material	Indeterminação da prova material.
620	Prova pessoal	Indeterminação da prova pessoal.
630	Outras informações	Indeterminação por lacunas na informação.

Anexo II – Variação dos grupos etários da população residente nas freguesias

Zona Geográfica	População residente -Variação entre 2001 e 2011 (%)				
	Var. Total	Grupos etários			
		0-14	15-24	25-64	65 ou mais
Guardão	-18,76	-35,65	-41,56	-17,58	-2,40
Santiago de Besteiros	-9,64	-26,03	-29,25	-8,31	15,44
U.F. São João do Monte e Mosteirinho	-18,20	-49,72	-29,09	-15,11	-1,27
U.F. Arca e Varzielas	-12,55	-23,53	-40,95	-13,79	12,57

Fonte: elaboração própria com base em dados do INE, 2017

Anexo III – Variação dos grupos etários da população residente nas freguesias

	0 a 4	5 a 9	10 a 13	14 a 19	20 a 24	25 a 64	> 65	Totais	%
Cadração	1	1	1	0	1	7	11	22	4,5
Caselho	2	1	5	5	9	57	27	106	13,2
Guardão de Cima	2	2	5	4	3	43	7	66	10,6
Muna	19	23	25	33	25	204	90	419	13,8
Dornas	5	1	0	3	9	38	18	74	16,2
Teixo	3	2	3	2	5	51	19	85	8,2
Valeiroso	0	1	1	2	0	12	7	23	8,7
Bezerreira	4	4	4	4	3	38	31	88	8,0
Todos os Lugares	36	35	44	53	55	450	210	883	12,2

Fonte: elaboração própria com base em dados do INE, 2017

Anexo IV – Evolução do número de ocorrências e área ardida em Portugal de 1995 a 2016

Anos	Área Ardida (ha)	Ocorrências (nº)
1995	169 612	34 116
1996	88 867	28 626
1997	30 534	23 497
1998	158 364	34 676
1999	70 613	25 477
2000	159 604	34 109
2001	112 312	26 947
2002	124 619	26 576
2003	425 839	26 219
2004	130 107	22 165
2005	339 089	35 823
2006	76 058	20 444
2007	32 595	20 316
2008	17 564	14 930
2009	87 420	26 136
2010	133 090	22 027
2011	73 828	25 222
2012	110 232	21 179
2013	152 690	19 294
2014	19 930	7 067
2015	64 412	15 851
2016*	160 490	13 079

Fonte: elaboração própria com base em dados do ICNF, 2015; ICNF, 2016a; ICNF, 2016b